

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh závodního vozidla typu urbanconcept pro

Shell Eco-Marathon

Design of Racing Car of Urbanconcept Type for the

Shell Eco-Marathone

Student:

Bc. Jakub Andrásek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

OSTRAVA 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta



Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb.- autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla naloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Jakub Andrýsek

Bc. Jakub Andrýsek

Hradská 33

Střílky 768 04



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ANDRÝSEK, J. *Návrh závodního vozidla typu urbanconcept pro Shell Eco-Marathon*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 53 s. Diplomová práce, vedoucí Učeň, O.

Diplomová práce se zabývá celkovým návrhem závodního vozidla využívající k pohonu vodík pro soutěž Shell Eco-Marathon. V úvodu práce jsou informace týkající se pravidel soutěže a jeho vývoji. V další části je probírána hlavní pohonná látka – vodík a palivový článěk, který z vodíku vyrábí elektrický proud. Dle zadání byl navrhnout rám, kola, řízení, brzdový systém a další části vozu s ohledem na pravidla. Výpočtová část se zabývá jízdními odpory, z čehož byl navrhnout elektromotor a zvolen ideální řemenový převod v softwarovém programu MITCalc. Pomocí MKP byla provedena pevnostní kontrola rámu v okamžiku průjezdu zatáčkou a v případě vyzdvižení vozidla do vzduchu na tažném oku. Celá sestava byla vytvořena v softwarovém programu AUTODESK INVENTOR. Výkresová dokumentace obsahuje sestavu celého vozidla, výkres svařence rámu a výrobní výkres nepoháněné hřídele.

ANNOTATION OF THESIS

ANDRÝSEK, J. *Design of Racing Car of Urbanconcept Type for the Shell Eco-Marathone*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VSB-Technical University of Ostrava, 2011, 53 p. Thesis, head of thesis Učeň, O.

The diploma thesis deals with the overall design of racing car, making use of hydrogen to drive for the Shell Eco-Marathon contest. In the introduction of my work are the information on the rules of contest and his development. In the next part is discussing the main fuel – hydrogen and fuel cell, which produces an electric current from hydrogen. According to the task was designed under rules a frame, wheels, a steering, a braking system and other parts of car. The computational part is dealing with road resistances of thereout was designed the electromotor and was selected the ideal belt gear in the software program MITCalc. It was performed strenght control of a frame if the vehicle is cornering and if the vehicle is jacking into the air to the towing attachment. The complete assembly was created in the software AUTODESK INVENTOR. The drawing documentation contains the assembly of a vehicle, the welded assembly drawing and the production drawing of shaft.



OBSAH:

1. ÚVOD:	9
2. SHELL ECO-MARATHON	11
2.1 Pravidla soutěže	13
2.2 Vývoj výsledků	15
3. VODÍK	17
3.1 Vlastnosti vodíku	17
3.1.1 Vodíková poškození	18
3.2 Výskyt vodíku	19
3.3 Výroba	20
3.4 Uplatnění vodíkové energetiky	21
3.5 Novinky v oblasti využívání vodíku	22
3.6 Přeměna vodíku na elektrický proud	24
4. PALIVOVÝ ČLÁNEK	25
4.1 Používána paliva pro palivové články	25
4.2 Druhy palivových článků	26
4.2.1 Kyselé (kyselinové) palivové články	27
4.2.2 Alkalické palivové články	27
4.2.3 Články s tavenými karbonáty	28
4.2.4 Membránové (keramické) palivové články	28
5. JÍZDNÍ ODPORY	29
5.1 Odpor valení	29
5.2 Odpor vzduchu	30
5.3 Celkový odpor	31
6. NÁVRH ELEKTROMOTORU	32
6.1 Hnací síla a zrychlení zvoleného elektromotoru	33
7. NÁVRH ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	34
7.1 Výpočet převodového poměru	34
7.2 Návrh a výpočet řemenového převodu	35
7.3 Přepočet na skutečnou rychlost vozidla	35
8. KONTROLA ZATÍŽENÍ OD TAŽNÉHO OKA	36
8.1 Kontrola tažného oka	36
8.2 Kontrola svaru při zatížení	38



8.3 Kontrola rámu při zatížení 2000N	39
8.3.1 Materiál rámu	39
8.3.2 Kontrolní výpočet rámu	40
9. KONTROLA PRŮJEZDU ZATÁČKOU	42
9.1 Kontrola na převrácení v zatáčce	42
9.2 Kontrola rámu v zatáčce	43
10. KOLA	46
10.1 Brzdy	46
10.2 Odpružení	47
11. ŘÍZENÍ	48
11.1 Řízení v zatáčce	49
12. POHON – PALIVOVÝ ČLÁNEK	50
13. ZÁVĚR	51
14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
15. PŘÍLOHY	53

Seznam použitého značení:

a	zrychlení	[m/s ²]
A	rameno od bodu R k těžišti v ose x	[mm]
b	barometrický tlak	[hPa]
b_o	normální atmosférický tlak	[hPa]
B	rameno od bodu R k těžišti v ose y	[mm]
c_x	součinitel odporu vzduchu	[1]
d_2	roztečný průměr	[mm]
d_3	nejmenší průměr závitu	[mm]
e	základ přirozeného logaritmu	[1]
f	součinitel valivého odporu	[1]
f_z	tření v závitu	[1]
F_o	odstředivá síla	[N]
F_1	minimální hnací síla	[N]
F_2	hnací síla elektromotoru	[N]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
G	tíhová síla	[N]
h	nadmořská výška	[m]
H	hustota vzduchu	[kg/m ³]
H_o	základní hustota vzduchu	[kg/m ³]
i	převodový poměr	[1]
i_c	skutečný převodový poměr	[1]
k	konstanta	[1]
k_b	bezpečnost	[1]
m	hmotnost auta s řidičem	[kg]
$M_{k,1}$	minimální točivý moment na kolo	[Nm]
$M_{k,2}$	točivý moment elektromotoru na kolo	[Nm]
$M_{t,1}$	minimální točivý moment elektromotoru	[Nm]
M_t	točivý moment elektromotoru	[Nm]
n	potřebné otáčky	[min ⁻¹]
n_1	otáčky velké řemenice	[min ⁻¹]
n_2	otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]



O_c	celkový odpor	[N]
O_f	odpor valení	[N]
O_v	odpor vzduchu	[N]
P	rozteč závitu	[1]
P_d	dynamický tlak	[kg·m ⁴ ·s ⁻¹]
r	poloměr kola	[mm]
r_z	rozvor kol	[mm]
R	poloměr zatáčky	[m]
Re	mez kluzu v tahu	[m]
S	čelní plocha vozidla	[m]
\check{s}_v	šířka vozidla	[m]
t	teplota vzduchu	[°C]
v	rychlost vozidla	[m/s]
v_s	skutečná rychlost vozidla	[m/s]
v_v	výška vozidla	[m]
x_6	úhel zatočení kola při poloměru 6 metrů	[°]
x_{35}	úhel zatočení kola při poloměru 35 metrů	[°]
α	úhel metrického závitu	[°]
α_v	úhel sklonu vozovky na dráze	[°]
η_c	účinnost převodu	[MPa]
σ_t	tahové napětí	[MPa]
σ_{RED}	redukované napětí	[MPa]
π	Ludolfovo číslo	[1]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]

1. ÚVOD:

Už při zkonstruování prvního automobilu se vědci zamýšleli nad jiným zdrojem energie, který by podobně jako benzín či nafta poháněly tyto mobilní stroje. V současné době je tato vize o to důležitější z důvodu extrémně zdražujících se cen ropy a dosti znečištěného ovzduší výfukovými plyny.

Jedním z řešení tohoto celosvětového problému je využití vodíku jako pohonné látky. Tato látka má velkou výhodu v tom, že je považována za prakticky nevyčerpatelný zdroj, protože se vyskytuje ve vodě a má obrovské množství energie při malé hmotnosti. Další výhodou je, že neznečišťuje ovzduší.



Obr. 1.1: Vozidla ze Shell Eco-Marathonu [3]

Nejllepší využití tohoto prvku se docílí použitím palivového článku, který vyprodukuje teplo, vodu a energii ve formě elektrického proudu. Tento elektrický proud pohání elektromotor, který pak následně přenáší točivý moment po zpřevodování na hnanou hřídel kola.

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí automobilu, využívající právě tento způsob pohonu pro soutěž Shell Eco-Marathon v kategorii urbanconcept, což je automobil určený pro městský provoz.

Každým takovým projektem se posunujeme dál, abychom se jednou přiblížili k tomu, že v budoucnosti lidé budou využívat k pohonu svých automobilů právě vodík.

Bohužel je zde pár otázek, na které si musíme v budoucnosti odpovědět a to, jak vhodně skladovat tekutý vodík ve velkém množství? Jak ho bezpečně převážet, když je na vzduchu výbušný? A v neposlední řadě jak jej vyrábět šetrněji k životnímu prostředí?



Obr. 1.2: Soutěžící Shell Eco-Marathonu [3]

2. SHELL ECO-MARATHON

[3] [11]

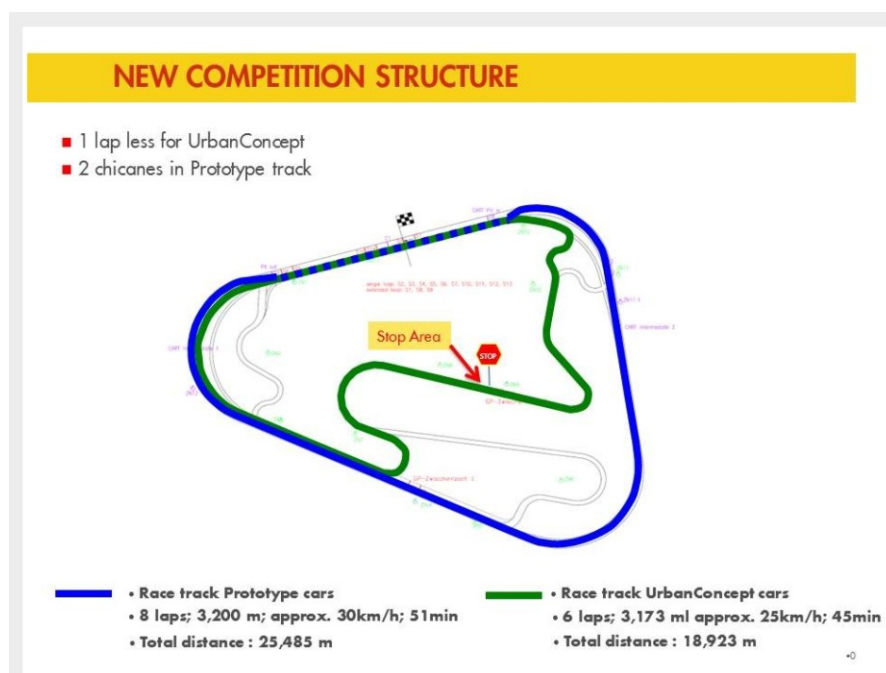
Shell Eco-marathon je jeden z největších závodů světa. Začal v roce 1939 ve výzkumné laboratoři Shell ve Spojených státech jako přátelská sázka mezi vědci. Spočívala v tom, najezdit svými vozidly co nejvíce kilometrů za galon paliva. V Evropě Shell Eco-marathon začal v roce 1985 ve Francii a od té doby přitahuje tisíce mladých inženýrů a vědců z dvaceti evropských zemí. Cílem závodu je minimalizovat spotřebu paliva, a tím ujet co nejdelší vzdálenost pomocí svého vozidla, které si každý tým sám zkonstruuje a vyrobí s použitím klasického nebo alternativního pohonu.

Závod se jezdí na třech místech světa, v Americe, Asii a Evropě. V roce 2011 se pojede 26. ročník tohoto závodu. V minulosti se v Evropské části soutěže jezdil závod na okruhu v jihofrancouzském Nogaru, letos, v roce 2011 se pojede tento závod na trati Eurospeedway Lausitz v Německu.



Obr. 2.1: Topografická mapa tratě Eurospeedway Lausitz

EuroSpeedway Lausitz je závodní okruh, který splňuje nejvyšší technické parametry a požadavky na Shell Eco-marathon v Evropě. Otevřen byl v roce 2000 a je určený pro náročné závodní účely. Jeho přednosti je bezpečnost a široký rozsah použití. Závodní trať a testovací ovál má rozlohu přibližně 367 ha. Kapacita pro 120 000 diváků z toho 25 000 na tribunách. Parkování pro 41 000 vozidel. Je vybaven 45 garážemi pro týmy.



Obr. 2.2: Vyznačení mapa tratě Eurospeedway Lausitz [3]

Délka : 3,173 km

Šířka : 18 m

Poloměry: 35 – 180 m

2.1 Pravidla soutěže

[3] [13]

Soutěž Shell Eco-marathon má dvě kategorie závodů, první se jmenuje „Prototyp“ a druhá "UrbanConcept". Jsou různé způsoby pohonu vozidla a to je na palivový článek – vodík, solární panel, elektricky poháněné vozidla na baterie a nebo pomocí spalovacího motoru.

Obecně platí že "UrbanConcept" by měl svou konstrukcí a užitím být podobný současným dopravním prostředkům. U této kategorie se jede okruh se vzdáleností 3 173 metrů. Celkem se jede 6 kol tj. 18 923 metrů. Po dosažení této vzdálenosti se změří spotřebovaný vodík a přepočítá se na ekvivalentní hodnoty km/l s benzínem Shell Natural (95 oktanu). Vozidlo s největším počtem ujetých kilometrů vyhrává.

Souhrn pravidel je dán mnoho pravidly, které musí být dodrženy nebo dodatečně spraveny na místě závodu.

Zásadní pravidla pro "UrbanConcept"

- Toto vozidlo musí splňovat i pravidlo tzv. „stop and go“.
- Musí mít 4 kola, které musí být za všech okolností v kontaktu s vozovkou.
- Karosérie nesmí obsahovat žádné externí prvky, které by mohly být nebezpečné pro ostatní členy týmu.
- Rovněž interiér nesmí obsahovat žádné objekty, které by mohly zranit řidiče.
- Okna nesmí být vyrobeny z žádného materiálu, který by se mohl roztržít na ostré střepy. Doporučený materiál – polykarbonát (např. Lexan).
- Celkové rozměry vozidla:
 - výška vozidla by měla být mezi 100 – 130 cm
 - šířka 95 – 120 cm
 - délka 220 – 350 cm
 - rozvor minimálně 120 cm
- Pro řidiče musí být minimální výška 88 cm a šířka v ramenech 70 cm.
- Maximální hmotnost vozidla (kromě řidiče) musí být 205 kg.
- Je zakázáno používat jakékoliv komerčně dostupné díly karoserie vozidla.

- Všechny mechanismy přístupu (např. dveře), musí být pevně připevněny ke karosérii vozidla (např. pomocí závěsů, posuvných lišt, atd.). Lepicí páska, suchý zip atd. nejsou povoleny pro tento účel.
- Vozidlo musí mít střešní krytinu řidiče.
- Čelní sklo je povinné.
- Zavazadlový prostor musí být k dispozici pro kufr o rozměrech 50 x 40 x 20 cm. Tento prostor musí být snadno přístupné z vnějšku, a musí obsahovat podlahu.
- Tažné oko nebo hák je povinný na přední části vozidla tak, aby bylo možné pomocí kabelu táhnout vozidlo. Tento hák nebo oko musí vydržet sílu v tahu 2000N (200 kg). (kontrola viz kapitola 8.).
- Motor a palivový systém musí být oddělen od řidiče přepážkou, která bude ohnivzdorná a nehořlavá z důvodu bezpečnosti řidiče při možném úniku pohonných látek a možnému požáru. Rovněž musí být utěsněny všechny možné díry, aby neunikal kouř do prostoru, kde je řidič. (Přepážka byla zvolena od firmy DEMOS, model Flame - Nehořlavá ohnivzdorná deska z primárních minerálních látek, s bílým jádrem a oboustranně dekorativním povrchem s melaminovou pryskyřicí) [14].
- Každé vozidlo musí být vybaveno hasicím přístrojem. Tento přístroj musí mít minimální hasicí schopnost 1 kg. Ruční hasicí přístroj musí být umístěny v prostoru pro posádku a být v případě požáru ihned k použití.
- Vozidlo musí být vybaveno zrcátky na každé straně vozidla, každý s minimální plochou 25 cm².
- Bezpečnostní pásy na sedadle řidiče musí být vybaveny s nejméně pěti montážní body pro udržení řidiče v jeho místě.
- Řízení musí být dosaženo pomocí volantů. Řídící tyče, joysticky, kultivátory nepřímé nebo elektrické systémy nejsou povoleny.
- Poloměr otočení musí být menší než 6m.
- Umístěná kola uvnitř karoserie vozidla musí být přepážkou nepřístupné řidiči.
- Jakákoliv manipulace nebo manipulace s koly je zakázáno od okamžiku, kdy vozidlo přijíždí na startovní čáru, až do překročení cílové čáry.

- Osvětlení vozidlo musí mít funkční vnější osvětlení. Dva přední světlomety, dvě zadní ukazatele směru, dvě červená brzdová světla v zadní části, červené zadní světla (lze kombinovat s brzdovými světly).
- Vozidlo musí být vybaveno kotoučovými hydraulickými brzdami. Brzdový pedál musí mít minimální plochu 25 cm^2 . Brzdy musí mít 2 okruhy nezávisle na sobě. Při sešlápnutí jakéhokoliv okruhu musí být minimální brzdná síla taková, aby vozidlo stálo na místě při náklonu 20% stoupání.
- Výfukové plyny musí mít vývod mimo karoserii vozidla.
- Hladina akustického zvuku vozidla UrbanConcept nesmí překročit hodnotu 90 dB při měření 4 m od vozidla.
- Nouzové vypnutí mechanismu, přístupné z exteriéru, musí být nainstalováno na všech vozidlech. Toto tlačítko musí označovat červená šipka nejméně 10cm dlouhá a 3cm široká v nejširším místě. Toto tlačítko musí zastavit motor a zamezit přístupu proudu od baterie do oběhu.

2.2 Vývoj výsledků

[3]

Největším úspěch VŠB-TUO bylo v roce 2004-2005 postaveno první vozidlo Hydrogenix I. Toto vozidlo bylo úspěšně otestováno a zúčastnilo se závodu Shell Eco-Marathon v roce 2005 ve Francii. Vozidlo dosáhlo výsledku 946 km/l. Hydrogenix I se v tomto závodě umístil na 4. místě v kategorii vozů na vodíkový pohon a na 29. místě celkově.

Evropa

- Prototyp:
 - Tým Polyjoule z Polytech Nantes University, Francie, dosáhl vzdálenosti 4 896,1 km / l (palivový článek).
 - La Joliverie Projet Microjoule, Francie, dosáhl 2 964,7 km / l (spalovací motor).
 - Tým Schluckspecht z Univerzity aplikovaných věd Offenburg, Německo, dosáhl 2 794,9 km / l (palivový článek).



- UrbanConcept:
 - Tým z De Haagse Hogeschool, Nizozemsko, dosáhl 747,2 km / l (palivový článek).
 - Tým z Německa dosáhl 700,9 km / l (palivový článek Aeris).
 - Tým Pac2Future z Université de Liège, Belgie, dosáhl 470,8 km / l (palivový článek).

Asie

- Prototyp:
 - Týmu z Thajska dosáhl 1521.9 km / l (spalovací pohon COBRA 1).
 - Tým z Malajsie Universiti Teknologi dosáhl 598.8 km / l (palivový článek).
 - Tým ze Singapuru Nanyang Technologické univerzity dosáhl 316.1km/l (solární vozidlo).
- UrbanConcept:
 - Tým z Indonésie, Sepuluh Nopember institut MESIN Technology dosáhl 237.6 km / l (spalovací motor).
 - Národní univerzita NUS Urban Singapur Concept, tým ze Singapuru dosáhl 612.4 km / l (palivový článek KRUCE).

Amerika

- Prototyp:
 - Tým z Laval University of Quebec, Kanada dosáhla 1,057.5 km / l (spalovací motor).
 - Tým z Cicero North Syracuse High School, dosáhl 780.9 km / l (palivový článek).
 - Tým z Purdue University v Indianě, dosáhl 1933.5 km / l (solární pohon).
- UrbanConcept:
 - Tým z Evansville, Mater Dei high school, Indiana dosáhl 185.87 km / l (spalovací motor).

3. VODÍK

[7]

Vodík, chemické označení „H“ (latinsky Hydrogenium, skládající se ze slov hydro: “vlhnout” a geny: “se tvořit”) je nejlehčí a nejjednodušší plynný chemický prvek, tvořící převážnou část hmoty ve vesmíru. Má velmi rozsáhlé praktické využití jako zdroj energie, redukční činidlo v chemické syntéze nebo metalurgii a také jako náplň meteorologických a pout'ových balonů a do 30. let 20. století i vzducholodí.

3.1 Vlastnosti vodíku

[7]

Vodík je chemický prvek v periodické tabulce s atomovým číslem 1. Je bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je hořlavý, hoří namodralým plamenem, ale hoření nepodporuje. Je 14,38 krát lehčí než vzduch a vede teplo 7 krát lépe než vzduch. Vodík je za normální teploty stabilní, pouze s fluorem se slučuje za pokojové teploty.

Je značně reaktivnější při zahřátí, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě, i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra, která zapálí kyslíko-vodíkový plamen). Vodík je velmi málo rozpustný ve vodě, ale některé kovy ho pohlcují (nejlépe palladium).

Vodík vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické tabulky s výjimkou vzácných plynů, zejména pak s uhlíkem, kyslíkem, sírou a dusíkem, které tvoří základní stavební jednotky života na Zemi.

Vodík je schopen tvořit zvláštní typ chemické vazby, nazývaný vodíková vazba nebo také vodíkový můstek, kdy vázaný atom vodíku vykazuje afinitu i k dalším atomům, s nimiž není poután klasickou chemickou vazbou. Mimořádně silná je vodíková vazba s atomy kyslíku, což vysvětluje anomální fyzikální vlastnosti vody (vysoký bod varu a tání atd.).

Zajímavou vlastností vodíku je jeho schopnost „rozpouštět“ se v některých kovech, např. v palladiu nebo platině, které poté fungují jako katalyzátory reakcí. Je to způsobeno tím, že má vodík velmi malé molekuly, které jsou schopny procházet různými materiály.



3.1.1 Vodíková poškození

[6]

Významným poškozovacím dějem v chemických a petrochemických provozech je interakce kovového konstrukčního materiálu s vodíkem. Jeho vliv je možné rozdělit podle teploty, za níž k působení na materiál dochází.

Při teplotách pod 190 °C vzniká vodík na povrchu kovu hlavně korozní depolarizační reakcí a vstupuje do oceli v atomární formě. Vznik vodíku na povrchu kovu je také možný ve vodných elektrolytech při katodické polarizaci povrchu oceli (v elektrochemických technologiích, např. při vylučování kovů, na povrchu oceli při velké polarizaci ze stanice katodické ochrany, na katodických místech vstupu bludných proudů).

Rekombinací na vhodných místech uhlíkových ocelí v nich tvoří dutiny, trhliny, popř. způsobuje lokální nebo i celkovou ztrátu plastických vlastností oceli. Vodík se zachytává v kovech na místech, která se označují jako "vodíkové pasti" - mají charakter bodový, lineární, plošný nebo objemový - dislokace, vrstevné poruchy, hranice zrn, vměstky, dutiny (od plynu), trhliny. Ve struktuře korozivzdorných ocelí je proti uhlíkovým ocelím nevratné zachycování vodíku podstatně menší. Rozpustnost vodíku v kovu závisí i na uspořádání mřížky - těsné uspořádání je náchylnější (feritická struktura), austenitická struktura je odolnější.

Rekombinace difundujícího atomárního vodíku v místech poruch struktury ocelí má za následek vznik velkých vnitřních tlaků (desítky až stovky MPa), které bez přítomnosti dalšího napěťového pole vedou k mechanickému porušení (k tzv. vodíkovým puchýřům). Vodíkovým puchýřům lze zabránit používáním uklidněných uhlíkových ocelí, povlaků, inhibitorů koroze s vodíkovou depolarizací a odstraněním látek, které snižují rychlost rekombinace atomů vodíku (sulfidy, sloučeniny As^{3+} , P). Lze také používat odolné kovové materiály, které mají velmi malé difúzní koeficienty vodíku (oceli legované niklem a niklové slitiny).

Ztráta pevnosti kovových materiálů se projevuje vodíkovou křehkostí, která někdy bývá zaměňována za korozní praskání.

Vodíkové křehkosti můžeme zabránit potlačením korozní rychlosti inhibitory (např. při moření), změnou proudových hustot při elektrolytickém vylučování kovů (např. při zinkování), výběrem vhodného materiálu (například vysoce pevné oceli snadno podléhají vodíkové křehkosti), náchylnost snižuje legování niklem nebo molybdenem. Vodík proniklý do struktury, který neměl příležitost k rekombinaci, se dá odstranit ohřevem na teploty 100 až 150 °C. Při předcházení vodíkové křehkosti je také třeba se vyvarovat svařování vlhkých povrchů, při kterém dochází k termickému rozkladu vody a vstupu vodíku do struktury.

Vstup vodíku do struktury kovu je také možný při zvýšených teplotách, kdy již není přítomno vodné korozní prostředí. Při teplotách 200 až 480 °C dochází na povrchu oceli k termické disociaci molekulárního vodíku na atomární, který pak difunduje do oceli, slučuje se s uhlíkem za tvorby metanu o vysokém tlaku a způsobí porušení oceli (tzv. vodíková koroze). Projevuje se také vznikem puchýřů. Při teplotách nad 540 °C difunduje uhlík k povrchu oceli, tvoří s termicky disociovaným vodíkem metan a dochází tak k oduhličení povrchu.

Negativní účinky vodíku na kovové materiály nepatří většinou v pravém slova smyslu do korozních procesů, protože se často na degradačním mechanismu přímo nepodílí elektrochemická nebo chemická reakce. Vlastní degradace je čistě mechanické podstaty, i když příčiny jsou chemické povahy.

3.2 Výskyt vodíku

[7]

Elementární vodík je na Zemi přítomen jen vzácně, nejvíce elementárního vodíku se vyskytuje v blízkosti sopek v sopečných plynech. Plynný vodík se v našem prostředí vyskytuje ve formě dvouatomových molekul H_2 , je však známo, že v mezihvězdném prostoru je přítomen z převážné části, jako atomární vodík H. V zemské atmosféře se vyskytuje jen ve vyšších vrstvách a díky své mimořádně nízké hmotnosti postupně z atmosféry vyprchává. Elementární vodík je však jednou z podstatných složek zemního plynu, vyskytuje se i v ložiscích uhlí.



Ze sloučenin je nejvíce zastoupena voda, která jako moře a oceány pokrývá 2/3 zemského povrchu. Bylo vypočteno, že se vodík podílí na složení zemské kůry (včetně atmosféry a hydrosféry) 0,88 hmotnostními procenty a 15,5 atomárních procent.

Další významný zdroj vodíku představují organické sloučeniny. Vodík patří společně s uhlíkem, kyslíkem a dusíkem mezi tzv. biogenní prvky, které tvoří základní stavební kameny všech živých organismů. Díky tomu se vodík vyskytuje prakticky ve všech sloučeninách tvořících nejvýznamnější surovinu současné energetiky a organické chemie.

Vodík je základním stavebním prvkem celého vesmíru, vyskytuje se jak ve všech svítících hvězdách, tak v mezigalaktickém prostoru. Podle současných měření se podílí ze 75 % na hmotě a dokonce z 90 % na počtu atomů přítomných ve vesmíru.

3.3 Výroba

[10]

Je několik možností, jak vodík získat. Téměř čistý vodík lze vyrobit procesem, který se nazývá elektrolytický rozklad vody (elektrolýza). Princip spočívá ve dvou platinových elektrodách ponořených do vody s přidavkem elektrolytu (hydroxidu draselného) kdy dochází k rozkladu vody na vodík, který se váže u kladné elektrody, a na kyslík, který vzniká jako logický další produkt u záporné elektrody. Aby se zabránilo mísení obou vznikajících plynů je prostor mezi elektrodami oddělen membránou. Na výrobu 1m³ vodíku tímto způsobem je zapotřebí až 5kWh elektrické energie, tedy je zde problém značné energetické náročnosti zmíněné v úvodním díle.

Hospodárnějším způsobem výroby vodíku je tzv. Steamreforming kdy je ovšem jako výchozí suroviny použito zemního plynu, tedy vyčerpatelného zdroje a takto vzniklý vodík není úplně čistý, musí se ještě dále upravovat a zároveň se v tomto případě naskytá otázka, proč tedy rovnou nepoužít zemního plynu.

Další metodou je Parciální oxidace. Typickou výchozí surovinou je těžký olej. Jako surový produkt vzniká syntézní plyn, který je po vyčištění veden do reaktoru, v němž dochází ke konverzi oxidu uhelnatého a vodní páry na vodík a oxid uhličitý.



Perspektivními cestami výroby vodíku se jeví termické štěpení vody, či zplyňování biomasy. Zplyňování biomasy (pyrolýza) je zjednodušeně řečeno proces, kdy se biomasa zahřívá bez přístupu kyslíku, což vede k jejímu štěpení na nízkomolekulární prvky a na tuhý zbytek.

V závislosti na dosažené teplotě, lze při pyrolytickém procesu pozorovat řadu dějů, které je možné pro jednoduchost rozdělit do 3 teplotních intervalů. V oblasti teplot do 200°C dochází k sušení a tvorbě vodní páry fyzikálním odštěpením vody. V rozmezí teplot 200 až 500°C následuje oblast tzv. suché destilace. Zde vznikají plynné a kapalné organické produkty a pevný uhlík. Ve fázi tvorby plynu v oblasti teplot 500 až 1200°C jsou produkty vzniklé suchou destilací dále štěpeny a transformovány. Přitom jak z pevného uhlíku, tak i z kapalných organických látek vznikají stabilní plyny, jako je CO, CO₂, CH₄ a také H₂, tedy vodík o který nám jde.

Termické štěpení vody je termický rozklad vody, který probíhá při teplotách 2500-3000°C. Tento problém ovšem zatím není technicky řešitelný, protože dělení reakčních složek by se muselo provádět při vysokých teplotách a na to nemáme vhodné konstrukční materiály.

Metod výroby vodíku je více, např. termické štěpení metanu při teplotě 1200°C, rozklad amoniaku či rozklad vodní páry. Ke všem těmto procesům jsou zapotřebí vysoké tlaky a teploty, tedy jsou velice energeticky náročné, stejně jako je náročné přizpůsobení běžného vozidla pro provoz na vodík.

3.4 Uplatnění vodíkové energetiky

[8]

Po přechodnou dobu může vodíku jako nosiči energie konkurovat metanol, biopaliva z obnovitelných zdrojů a plynná paliva, především zemní plyn a bioplyny. S rostoucím nedostatkem uhlíkatých surovin a důrazem na produkci potravin bude jejich význam klesat.

Využití vodíku jako paliva bude zajímavé pro proudové letecké motory. Ty mají měrnou spotřebu paliva na tuno-kilometr nebo osobo-kilometr nejvyšší (přibližně třikrát až pětkrát vyšší proti silničním motorovým vozidlům) a jejich relativní podíl na ceně přepravy je vysoký. Odhaduje se, že do roku 2030 vzroste cena jejich současného paliva (kerosinu) zhruba pětkrát. Proto se v posledních letech známé letecké konstruktérské firmy (Tupolev, Daimler-Benz, Aerospace, Dornier, Airbus Aerospace aj.) a firmy se zkušenostmi v kryogenní technice (Linde A. G.) zabývají vývojem motorů, palivových nádrží a letounů poháněných vodíkem. Již roku 1988 se zkoušel vodíkový tryskový motor na dopravním letounu TU-154 (vzlétl pod typovým označením TU-155).

Výhodou spalovacích turbín a jimi poháněných turbodmychadlových leteckých motorů je jejich poměrně jednoduchá adaptace na vodík. Spočívá hlavně v úpravě počtu směšovacích trysek nebo zkrácení spalovacích komor pro vyšší rychlost hoření vodíku a nutnost jeho dokonalého směšování se spalovacím vzduchem. Větším problémem je konstrukce a umístění palivových nádrží, jejichž provozní teplota musí být - 250 °C při provozním tlaku 1,2 MPa. Proto nemohou být v křídlech jako dosud, bude se muset změnit konstrukce letadel. Navíc se palivové systémy musí doplnit o tepelné výměníky - výparníky pro zplynění kapalného vodíku, čímž se patrně (dle dosavadních technologických znalostí) sníží nosnost nebo dolet letadel.

Složitá bude též konstrukce pístových zážehových spalovacích motorů na vodík, konkrétně zajištění optimálních podmínek hoření při tak mimořádné rychlosti hoření a výbušnosti směsi vodíku se vzduchem. Bude se muset upravit systém směšování paliva se vzduchem a časování zážehu. Již dnes výrobci motorů vyvíjejí vodíkové čtyřtakové pístové spalovací motory. BMW zkouší vodíkový motor v modelu 735 a Hyundai Motor Company zkouší šestnáctiventilový čtyřválcový vodíkový motor 2,0 DOHC.

3.5 Novinky v oblasti využívání vodíku

[9]

Umělé listy -Umělý list nijak zvlášť nepřipomíná listy skutečných rostlin. Připomíná spíš klasický solární článek tenký zhruba jako pokerová karta. Je vyroben z křemíku, niklu a kobaltu a dalších prvků, které slouží jako katalyzátory elektrochemické reakce. Jakmile umělý list ponoříte do vody a necháte na něj svítit slunce, začne elektrochemická



reakce, která vodu dělí na kyslík a vodík. Vodík lze jednoduše zachytávat, skladovat v palivovém článku a vyrábět z něj elektřinu.

Vodíková elektrárna- Vodíková elektrárna Fusina poblíž Benátek je světově prvním zařízením, které produkuje energii z vodíku ve významnějším množství. Zároveň je prvním krokem k vývoji čistších zdrojů. Má výkon 16 MW a využívá vodíku vyráběného jako odpadní produkt v nedaleké chemičce.

HydroFill - Jde o malou vodíkovou čerpací stanici do domácnosti. HydroFill totiž slouží pouze k doplňování malých palivových článků Hydrostik pro spotřební elektroniku. Tedy mobily, handheldy nebo třeba mikroprojektory. Představa je však taková, že jde o první krok směrem k autům na vodík a nezávislosti na síti čerpacích stanic a fosilních palivech vůbec. Malá stolní čerpací stanice funguje jednoduše na základě elektrolýzy. Připojíte ji do zásuvky, případně k solárnímu panelu nebo větrné turbíny.

Výroba vodíku s pomocí solárních elektráren - Princip je relativně jednoduchý. Kus od mořského pobřeží se na vodu položí množství nafukovacích “dlaždic” se solárními panely. Celkový výkon solární elektrárny je pak zvýšen chladicí schopností mořské vody údajně až k 30%. Elektřina vyrobená elektrárnou je využívána k energeticky náročné výrobě vodíku za pomoci elektrolýzy. Ten je pak skladován bezpečně skrze palivový článek do velkých nádrží na dně moře. Tam proto nehrozí např. nebezpečí výbuchu. Idea návrhářů je taková, že nádrží na dně moře povedou trubky na pobřeží, podobně jako např. plynovod, kam bude pak možné vodík bezpečně a relativně levně dodávat.

Domácnost budoucnosti poběží podle vědců z MIT na vodík - Hlavní součástí tohoto systému je nový katalyzátor, solární panely a palivové články. Solární panely budou během dne dodávat např. rodinnému domu energii. Ta přebytková však bude využita pro elektrolýzu. Kyslík a vodík se budou ukládat ve speciálních nádržích. V noci, nebo při vysoké zátěži, se pak vodík “pustí” do palivových článků, které dodají další energii. Otázkou je, zda dvě obrovské nádrže s kyslíkem a vodíkem v jedné domácnosti nebudou představovat jisté bezpečnostní riziko.



3.6 Přeměna vodíku na elektrický proud

[8]

Jediné, co potřebujeme pro průběh katalytické reakce je vodík, kyslíkovou elektrodu, vodíková elektroda a polymerová membrána. Protože by však samotný vodík natropil více škody než užitku (zvláště ve styku s kyslíkem, kdy je silně výbušný), je vázán v hydridu železa – metalhydridu.

K tomu, abychom vůbec získali vodík, je zapotřebí přístroj zvaný elektrolyzátor, který dokáže štěpit vodu na vodík a kyslík. Vyloučený vodík se poté skladuje v zásobníku připojeném k palivovému článku. V palivovém článku pak dochází k reakci mezi vyloučeným vodíkem a okolním vzduchem – a výsledkem této reakce je elektrický proud. Celá věc však není tak jednoduchá, jak by se mohlo na první pohled zdát. Uprostřed palivového článku je umístěna ještě tzv. polymerová membrána. Ta je skutečným místem, kde vzniká elektrický proud reakcí vodíku a kyslíku. Samotný palivový článek by ale nebyl schopen utáhnout některá energeticky náročnější zařízení – notebooky nevyjímaje. Proto se u notebooků používá zpravidla 5 palivových článků propojených mezi sebou. První palivové články pro notebooky byly představeny už počátkem minulého roku na hannoverském CeBITu. V současné době se celá záležitost nachází ve fázi hledání sponzorů, kteří by byli ochotni investovat do nové – a určitě perspektivní – technologie.

4. PALIVOVÝ ČLÁNEK

[8] [12] [15]

Palivový článek můžeme definovat jako elektrochemický zdroj stejnosměrného proudu, ve kterém dochází ke katalytickým reakcím vodíkového paliva a oxidačního činidla na elektrodách. Pracuje na obráceném principu elektrolýzy vody. Vodík je přiváděn k anodě, na které dochází k jeho katalytické oxidaci na proton a elektron. Proton přechází elektrolytem ke katodě, zatímco uvolněný elektron přechází vnějším vedením. Na katodě reaguje proton s přiváděným kyslíkem a elektronem za vzniku vody. Na obou elektrodách vzniká přitom potenciální rozdíl kolem 1 V, při zatížení 0,5 až 0,8 V. Palivový článek obsahuje obvykle několik desítek jednotlivých cel v sériovém uspořádání, aby bylo dosaženo požadovaného vyššího napětí. Podle potřeby na produkované napětí a proud pak lze provádět paralelní nebo sériové propojení jednotlivých modulů. Svou činností je palivový článek podobný klasickým akumulátorům, na rozdíl od nich však používá z vnějšku dodávané palivo, což mu umožňuje libovolně dlouhý provoz.

4.1 Používána paliva pro palivové články

Zatím nepoužívanějším palivem je čistý vodík, který může v palivovém článku přímo reagovat za vývoje elektrického proudu. Skladování a přeprava plynného vodíku není příliš výhodná skrz vysokou váhu obalů. Např. tlakové vodíkové láhve obsahují jen jedno procento čistého vodíku z celkové váhy. Vyvíjeny jsou proto způsoby skladování a přepravování zkapalněného vodíku, při nichž lze obsah čistého vodíku zvýšit až na 10 % celkové váhy. Na zkapalnění a udržování ve zkapalněném stavu se ale spotřebuje značné množství energie, odpovídající přibližně 1/3 energetického obsahu přepravovaného vodíku. Dalšími připravovanými zdroji čistého vodíku jsou zdroje chemické, ze kterých bude vodík uvolňován hydrolýzou, amolýzou nebo katalytickou reakcí. Za velmi perspektivní je považováno ukládání vodíku v tzv. uhlíkatých nanovlákních se schopností pojmout až 48 váhových % vodíku.

Protože vodík není vhodný pro všechny aplikace palivových článků, je věnována pozornost i tzv. nepřímým palivům, ze kterých je vodík uvolňován reformovacím procesem. Mezi nejvýznamnější nepřímé zdroje vodíku patří metan, zemní plyn, metylalkohol, etylalkohol, případně čpavek. Reformováním těchto zdrojů vodní parou nebo tzv. parciální oxidací při vysokých teplotách vzniká vodík s kyslíčníky uhlíku.



4.2 Druhy palivových článků

Celkem existuje pět druhů palivových článků, které se liší především podle používaného elektrolytu a podle rozsahu teplot, při kterých pracují.

Tab. 4: Přehled typů palivových článků

TYP ČLÁNKU	ELEKTROLYT	ROZMEZÍ PRACOVNÍCH TEPLOT (°C)
nízkoteplotní membránový	iontovýměnná membrána	25 – 100
nízko-středně teplotní alkalický	hydroxid draselný	60 – 200
středně teplotní kyselý	kyselina fosforečná	150 – 200
vysokoteplotní z tavených karbonátů	tavenina alkalických karbonátů	600 – 700
vysokoteplotní z vodivých oxidů	vodivé keramické oxidy	650 – 1000

První tři typy článků dosáhly různého průmyslového využití, poslední dva jsou ještě spíše ve stadiu vývoje a hledání nejvhodnějších konstrukčních materiálů a technologických výrobních postupů. Jako první dosáhly stadia větší průmyslové výroby články kyselé, vyráběné ve Spojených státech a v Japonsku. Mezi jejich přednosti patří chemicky vysoce stabilní elektrolyt a možnost používat reformovaná paliva.

4.2.1 Kyselé (kyselinové) palivové články

Můžou být vyráběny v širokém výkonovém rozmezí od 1 kW do 5 MW. Mezi jejich nevýhody je korozivní účinek kapalného elektrolytu - kyseliny fosforečné, pomalá kinetika katodové reakce a horší vodivost kyseliny fosforečné při nižších teplotách. Jsou robustní a jejich hlavní využitelnost je ve formě statických generátorů elektrické a tepelné energie, schopných pokrýt kritickou oblast výkonů od 50 kW do 1 MW, ve které turbíny a plynové motory pracují s nízkou účinností.

4.2.2 Alkalické palivové články

Byly poprvé využívány jako energetické zdroje v kosmických lodích Apollo. Mají nejrychlejší kinetiku katodové kyslíkové reakce a nepotřebují proto alespoň pro katodu drahé katalyzátory ze vzácných kovů. Mají vyšší účinnost a energetickou kapacitu než kyselé články. Nevýhodou je, že je využito kapalného elektrolytu (silně koncentrovaný hydroxid draselný). Má korozní účinky a na utěsnění celého článku je zapotřebí věnovat zvýšenou pozornost. Velkou slabinou alkalických palivových článků je velmi vysoká citlivost na obsah kysličníku uhličitého v používaných plynech, který reaguje s elektrolytem a znehodnocuje ho. Proto se nemůže používat nepřímá reformovaná paliva a jsou odkázány na zdroje čistého vodíku. I vzduch, dodávaný pro katodovou reakci, musí být předem zbaven kysličníku uhličitého. Nemají zatím ani potřebnou dlouhou životnost, aby mohly být využívány jako statické generátory energie. Proto se dostaly brzy mimo oblast zájmů a jejich dalšímu vývoji se ve světě věnuje jen několik firem, jako je belgická ELENCO nebo kanadská ASTRIS. Německá společnost SIEMENS vyvíjela alkalické palivové články pro pohon ponorek, ale před rokem 1980 přešla na články membránové, které dosahují vyššího výkonu a mají nekorozivní pevný elektrolyt.

4.2.3 Články s tavenými karbonáty

Články s tavenými karbonáty nebo vodivými oxidy nepotřebují pro reakce při vysokých teplotách katalyzátory elektrodových reakcí a mohou používat reformovaná paliva. Horší převod hmoty a nízká vodivost nedovolují těmto článkům dosáhnout vysoké účinnosti a energetické kapacity, jakou se vyznačují palivové články membránové a alkalické. Budou se využívat výhradně jako statické zdroje elektrické a tepelné energie o výkonech 100 kW - 10 MW. Současné prototypy dosahují výkonů mnohem nižších, protože nejsou dosud konstruovány z nejvhodnějších materiálů.

4.2.4 Membránové (keramické) palivové články

Rozvoj membránových článků začal později než u ostatních druhů. V posledních letech se ale neustále zrychluje a membránovým palivovým článkům je zaslouženě věnována největší pozornost. Tyto palivové články mají pevný nekorozivní elektrolyt - iontovýměnnou membránu - a jejich konstrukce i provoz je do určité míry jednodušší než u ostatních článků. Mají vůbec nejrychlejší kinetiku anodové oxidace vodíku, takže dosahují vysokých účinností a vzhledem k jednoduché konstrukci s pevným elektrolytem i vysoké energetické kapacity. Mohou pracovat i při nezvýšené teplotě, reakce je nastartována okamžitě po dodání paliva a maximálního výkonu dosahují do 30 vteřin po startu. Nejsou citlivé na kysličník uhličitý, což umožňuje používat reformovaná paliva. Minimální nároky na údržbu, malé rozměry a možnost modulového uspořádání jsou další vlastnosti, které pomáhají k rozsáhlejší použitelnosti membránových palivových článků ve srovnání s jinými. Vedle statických generátorů elektrické energie jsou velmi vhodné pro pohánění dopravních prostředků, především autobusů a osobních automobilů.

5. JÍZDNÍ ODPORY

5.1 Odpor valení

[5]

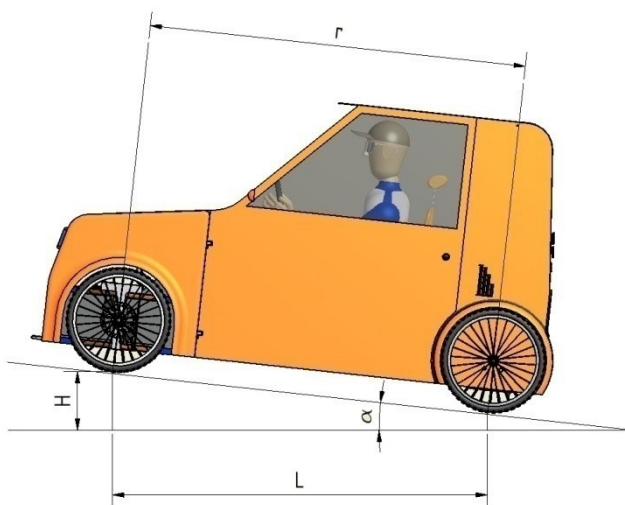
Tento odpor vzniká při valivém pohybu přechodnou elastickou deformací povrchu pneumatiky v oblasti jejího dotyku s vozovkou. Při tomto pohybu se zvyšuje specifický tlak v přední části styčné plošky vlivem postupné pružné deformace kola i vozovky a snižuje se tlak v zadní části styčné plošky vlivem vnitřního tření materiálu dopružováním.

Jízda po rovině

$$O_f = G \cdot f = m \cdot g \cdot f = 150 \cdot 9,81 \cdot 0,008 = 11,772 \text{ N} \quad (5.1)$$

Jízda při stoupání 4,5°

$$\begin{aligned} O_f &= G \cdot f + (G \cdot f \cdot \sin \alpha_v) \\ O_f &= m \cdot g \cdot f + (m \cdot g \cdot f \cdot \sin 4,5) \\ O_f &= 150 \cdot 9,81 \cdot 0,008 + (150 \cdot 9,81 \cdot 0,008 \cdot \sin 4,5) \\ O_f &= 12,7 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.2)$$



Obr. 5.1: Naklonění vozidla

kde:

- $m = 150 \text{ [kg]}$ - hmotnost auta s řidičem
- $f = 0,008 \text{ [1]}$ - součinitel valivého odporu.

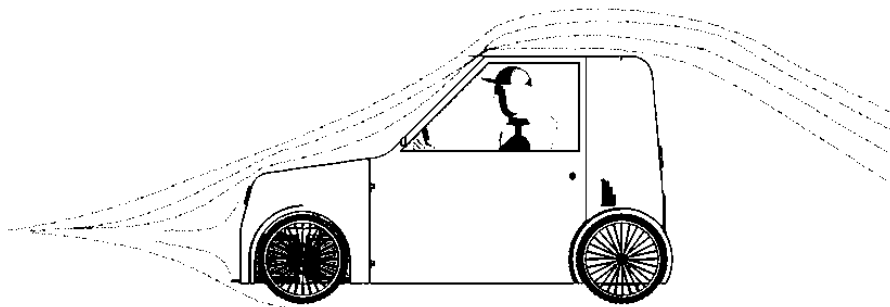
Volím v rozsahu 0,01 (automobil) – 0,0075 (galusky).

- $\alpha_v = 4,5 [^\circ]$ - úhel sklonu vozovky na dráze

5.2 Odpor vzduchu

[5]

Odpor prostředí je závislý na velikosti čelní plochy, rychlosti, tvarovém součiniteli a hustotě prostředí. V případě proudění vzduchu kolem vozidla, je nutné rychlost proudění vzhledem ke směru jízdy připočítat nebo odpočítat.



Obr. 5.2: Předpokládané proudění vzduchu

Na odpor vzduchu má celkem znatelný vliv také hustota vzduchu. Když narůstá nadmořská výška, tak klesá barometrický tlak a tím i hustota vzduchu, která rovněž klesá se vzrůstající teplotou.

Barometrický tlak byl zvolen v nadmořské výšce 200 m při teplotě 20 °C.

$$b = b_0(1 - k \cdot t)e^{\frac{(1-k \cdot t)(h-21)}{7988}} = 1013,25(1 - 0,00367 \cdot 20)e^{\frac{(1-0,0036720)(200-21)}{7988}} = 920 \text{ hPa} \quad (5.3)$$

Hustota vzduchu:

$$H = \frac{H_0}{1 + k \cdot t} \cdot \frac{b}{b_0} = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \cdot 20} \cdot \frac{920}{1013,25} = 1,094 \text{ kg/m}^3 \quad (5.4)$$

kde:

- $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ - gravitační zrychlení
- $e = 2,71 \text{ [1]}$ - základ přirozených logaritmů
- $t = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ - teplota vzduchu
- $b_0 = 1013,25 \text{ [hPa]}$ - normální atmosférický tlak
- $h = 200 \text{ [m]}$ - nadmořská výška
- $H_0 = 1,293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ - základní hustota vzduchu
- $k = 0,00367 \text{ [1]}$ - konstanta

Dynamický tlak:

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,094 \cdot 13,9^2 = 105,7 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \quad (5.5)$$

Odpor vzduchu:

$$O_v = P_d \cdot c_x \cdot S = 105,7 \cdot 0,33 \cdot 0,923 = 32,2 \text{ N} \quad (5.6)$$

kde:

- $v = 13,9 \text{ [m/s]}$ - rychlost vozidla
- $c_x = 0,008 \text{ [1]}$ - součinitel odporu vzduchu. Byl zvoleno dle Fiat Panda
(Pro přesnější hodnotu by bylo zapotřebí měření v aerodynamickém tunelu)

Čelní plocha vozidla:

$$S = (0,7 \div 0,85) \cdot \check{s}_v \cdot v_v = 0,8 \cdot 0,974 \cdot 1,1845 = 0,923 \text{ m}^2 \quad (5.7)$$

kde:

- $v_v = 1,1845 \text{ [m]}$ - výška vozidla
- $\check{s}_v = 0,974 \text{ [m]}$ - šířka vozidla

5.3 Celkový odpor

$$O_C = O_f + O_v = 11,772 + 32,2 = 44 \text{ N} \quad (5.8)$$

6. NÁVRH ELEKTROMOTORU

Vycházelo se z vypočteného odporu při rychlosti 50 km/h tzn. potřebná minimální hnací síla na kolo je $F_1 = 44 \text{ N}$.

Točivý moment na kolo:

$$M_{k,1} = F_1 \cdot r = 44 \cdot 0,23 = 10,12 \text{ Nm} \quad (6.1)$$

kde:

- $F_1 = 44 \text{ [N]}$ - potřebná hnací síla na kolo
- $r = 0,23 \text{ [m]}$ - poloměr kola

Minimální točivý moment z elektromotoru:

$$M_{k,1} = M_{t,1} \cdot i_c \cdot \eta_c \Rightarrow M_{t,1} = \frac{M_{k,1}}{i_c \cdot \eta_c} = \frac{10,12}{6 \cdot 0,95} = 1,78 \text{ Nm} \quad (6.2)$$

kde :

- $M_{k,1} = 10,12 \text{ [Nm]}$ - potřebný točivý moment na kolo
- $i_c = 6 \text{ [1]}$ - převodový poměr (viz. Kapitola 7)
- $\eta_c = 0,95 \text{ [1]}$ - účinnost převodu (zvoleno)

Na základě vypočteného točivý momentu byl zvolen DC elektromotor model MY1020 od dodavatele Yueqing Onlybo Instruments.

Tab. 6: Hodnoty elektromotoru

Model	MY1020
Specifikace	750W; 36V
Proud	2,5 A
Otáčky	3500 ot/min
Točivý moment	2.8 N·m
Výkon	1,03 kW

6.1 Hnací síla a zrychlení zvoleného elektromotoru:

Po zvolení elektromotoru byly přepočítané hodnoty pro daný typ elektromotoru.

Točivý moment zvoleného elektromotoru:

$$M_{k,2} = M_{t,2} \cdot i_c \cdot \eta_c = 2,8 \cdot 6 \cdot 0,98 = 16,464 \text{ Nm} \quad (6.3)$$

Hnací síla na kolo:

$$F_2 = \frac{M_{k,2}}{r} = \frac{16,464}{0,23} = 71,58 \text{ N} \quad (6.4)$$

kde:

- $M_t = 2,8 \text{ [Nm]}$ - točivý moment elektromotoru
- $i_c = 6 \text{ [1]}$ - převodový poměr (viz. kapitola 7.)
- $\eta_c = 98 \text{ [%]}$ - účinnost převodu (viz. příloha A)

Zrychlení po jízdě po rovině:

Odpor vzduchu je závislý na rychlosti vozidla, proto je vypočítané zrychlení při rozjezdu a v momentu blížící se maximální rychlosti.

Při rozjezdu:

$$m \cdot a = F_2 \Rightarrow a = \frac{F_2}{m} = \frac{71,58}{150} = 0,4772 \text{ m s}^{-2} \quad (6.5)$$

Těsně před maximální rychlostí:

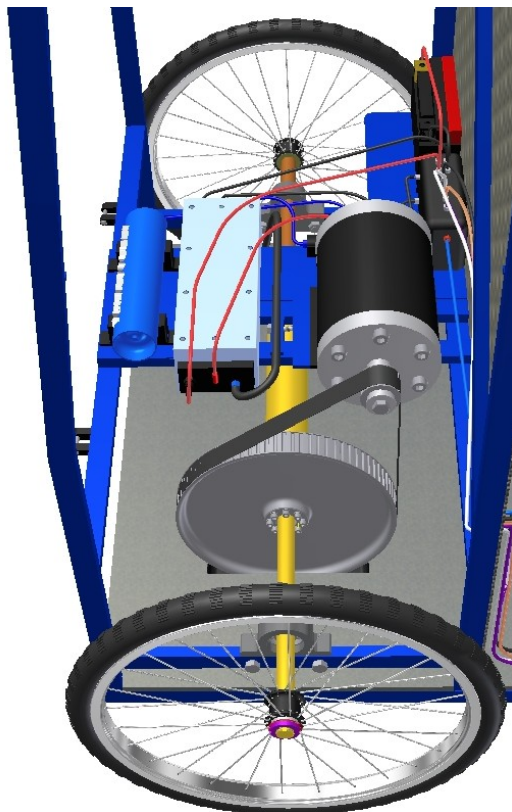
$$m \cdot a = F \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{F_2 - F_1}{m} = \frac{71,58 - 44}{150} = 0,184 \text{ m s}^{-2} \quad (6.6)$$

kde:

- $F_2 = 71,58 \text{ [N]}$ - hnací síla na kolo u 750 W motoru

7. NÁVRH ŘEMENOVÉHO PŘEVODU

Nejdříve byl vypočítán převodový poměr, aby bylo možné dále navrhnout převod.



Obr. 7.1: Uložený řemenový převod

7.1 Výpočet převodového poměru:

Pro návrh převodového poměru jsem vycházel z požadované rychlosti 50 km/h.

Potřebné otáčky na velké řemenici:

$$v = r \cdot \omega = r \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \Rightarrow n = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{13,9}{2 \cdot \pi \cdot 0,23} = 9,62 \text{ s}^{-1} = 577 \text{ min}^{-1} \quad (7.1)$$

kde:

- $r = 0,23 \text{ [m]}$ - poloměr kola
- $v = 13,9 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$ - požadovaná rychlost automobilu (50 km/h)

Převodový poměr:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3500}{577} = 6,066 \text{ [1]} \quad (7.2)$$

kde:

- $n_2 = 3500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ - otáčky elektromotoru
- $n_1 = 577 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ - otáčky velké řemenice

7.2 Návrh a výpočet řemenového převodu

Pro návrh řemenu bylo využito softwarového programu MITcalc, který zvolil ideální převod pro tento účel zatížení. Komponenty na toto převodové ústrojí bylo zvoleno od firmy UZIMEX. Přehled výpočtů je v příloze A.

7.3 Přepočet na skutečnou rychlost vozidla

Rozdíl mezi požadovaným a skutečným převodovým poměrem ovlivňuje celkovou rychlost vozidla.

Skutečná rychlost

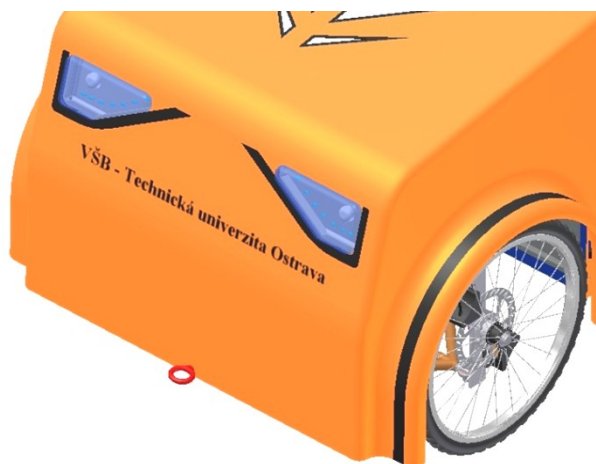
$$v_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 0,23 \cdot 9,72 = 14,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 50,57 \text{ km/h} \quad (7.3)$$

kde:

- $n = 583,3 \text{ [1/min-1]} = 9,72 \text{ [1/s}^{-1}\text{]}$ - Výstupní otáčky hnaného kola

8. KONTROLA ZATÍŽENÍ OD TAŽNÉHO OKA

Jedno z hlavních pravidel soutěže je nutné tažné oko na přední části vozidla, které musí vydržet sílu v tahu 2000N (200kg). Toto pravidlo je pro případ poruchy nebo havárie, aby bylo možné vozidlo naložit a odvést. Tento tažený šroub s okem je umístěn uprostřed tyče na přední části vozu.



Obr. 8.1: Pohled na tažné oko

8.1 Kontrola tažného oka

[4] [1]

Byla vypočtena statická kontrola pro zvolený šroub M14x2 s třídou pevností 8.8.



Obr. 8.2: Šroub – M14x2

Tahové napětí

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{2000}{\pi \cdot \left(\frac{11,546}{2}\right)^2} = 19,1 \text{ MPa} \quad (8.1)$$

Napětí v krutu

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{W_K} = \frac{F \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{16}} = \frac{2000 \cdot \operatorname{tg}(2,557 + 17,62) \cdot \frac{12,701}{2}}{\frac{\pi \cdot 11,546^2}{16}} = 178,3 \text{ MPa} \quad (8.2)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{2}{\pi \cdot 12,701} = 2,557 \quad (8.3)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{arctg} \frac{0,275}{\cos \frac{60^\circ}{2}} = 17,62 \quad (8.4)$$

Redukované napětí podle metody GUEST

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{19,1^2 + 4 \cdot 178,3^2} = 357,1 \text{ MPa} \quad (8.5)$$

Mez kluzu v tahu

$$Re = 8 \cdot 8 \cdot 10 = 640 \text{ MPa} \quad (8.6)$$

Bezpečnost

$$k_b = \frac{Re}{\sigma_{RED}} = \frac{640}{357,1} = 1,79[1] \quad (8.7)$$

kde:

- $P = 2 [1]$ rozteč
- $d_2 = 12,701 [\text{mm}]$ – roztečný průměr
- $d_3 = 11,546 [\text{mm}]$ – nejmenší průměr závitu
- $\alpha = 60 [^\circ]$ – úhel metrického závitu
- $f_z = 0,275 [1]$ tření v závitu

8.2 Kontrola svaru při zatížení

I když je napětí teoreticky rozloženo na všechny svary v přední oblasti rámu vozidla, bylo z důvodu bezpečnosti počítáno pouze se svary nejbližší tažné síle. Je počítáno s poloviční silou $F_z=1000\text{N}$, protože byla spočtena pouze jedna ze dvou svařovaných tyčí. Kontrola byla provedena v softwarovém programu MITcalc.

1.0 Základní parametry výpočtu, materiál spoje

1.1 Jednotky výpočtu: SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Použitá výpočetní metoda: Základní výpočtová metoda

1.3 Požadovaná bezpečnost na mezi kluzu: $FS_y = 2,00$

1.4 Metoda převodních koeficientů

1.5 Požadovaná bezpečnost na mezi kluzu: $FS_y = 1,50$

1.6 Metoda dovolených napětí

1.7 Požadovaná míra bezpečnosti: $FS = 1,00$

1.9 Materiál spojovaných částí

1.10 Materiálová norma: ASTM

1.11 User material 1

1.12 Mez pevnosti v tahu: $R_m = 310$ [MPa]

1.13 Mez kluzu: $Re = 275$ [MPa]

Obr. 8.3: Základní parametry výpočtu, materiál spoje

4.0 Koutové svary zatížené v rovině kolmé na rovinu spoje (T-spoje)

4.1 Tvar svarové skupiny

4.2 Rozměry spoje

4.3 Výpočtová tloušťka svaru: $a = 1,5000$ [mm] min

4.4 Výška nosníku: $H = 25,0000$ [mm] min

4.5 Šířka nosníku: $B = 13,0000$ [mm]

4.8 Standardní profily

4.9 Typ profilu: Ocelový S profil [ASTM/AISI/AISC]

4.10 Rozměr profilu: S 3 x 5.7

4.11 Parametry spoje

4.12 Ve výpočtu uvažována pouze nosná délka svaru

4.13 Ve výpočtu uvažována pouze kladná hodnota napětí

4.14 Zatížení spoje

4.15 Osová síla: $F_z = 1000,000$ [N] max

4.16 Ohybová síla: $F_y = 889,644$ [N]

4.17 Rameno síly: $e = 63,500$ [mm]

4.18 Obecná síla: $F = 889,644$ [N]

4.19 Směrový úhel působící síly: $\delta = 30,000$ [°]

4.20 Z-ová souřadnice působíště síly: $Z = 63,500$ [mm]

4.21 Y-ová souřadnice působíště síly: $Y = 25,400$ [mm]

4.22 Ohybový moment: $M = 54,233$ [N m]

4.23 Krouticí moment: $T = 27,116$ [N m]

4.24 Pevnostní kontrola spoje

4.25 Mez kluzu: $Re = 275,0$ [MPa]

4.26 Dovolené napětí: $Sa = 137,50$ [MPa]

4.27 Normálové napětí: $Sw = 15,15$ [MPa]

4.28

4.29 Bezpečnost na mezi kluzu: $b = 18,15$

Diagramy: Vlevo je schéma zatížení T-spoje s silami F_z , F_y , momentem M a úhlem δ . Vpravo je schéma profilu S s rozměry B , H a souřadnicemi Z , Y .

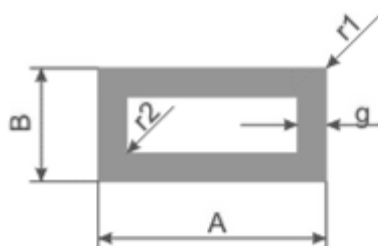
Obr. 8.4: Výsledné hodnoty svaru

Bezpečnost na mezi kluzu byla vypočtena na hodnotu $b = 18,15$. To je dostačující hodnota pro daný typ zatížení.

8.3 Kontrola rámu při zatížení 2000N

8.3.1 Materiál rámu

Hlavní požadavky na materiál rámu byla nízká hmotnost a vysokou pevností. Jako první byla zvolena uhlíková vlákna, ale z důvodu špatné tvarovatelnosti a nerovnoměrné pevnosti (největší pevnost v ose vláken) byla zvolena slitina hliníku – Dural. Od firmy PROAL s.r.o. byl zvolen profil a typ materiálu.



Obr. 8.5: Profil rámu

Tab. 8: Rozměry profilu

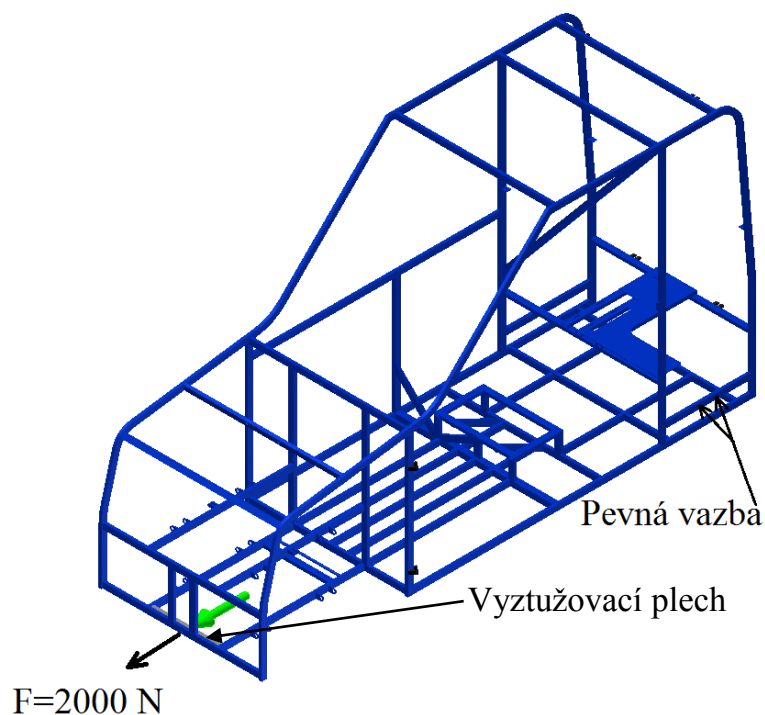
	A	B	g	r1	r2
Rozměr mm	25	13	1,5	1	2,5

Charakteristika materiálu – EN AW-6063 – AlMgSi0,5 F22 (ČSN 424401) [16]

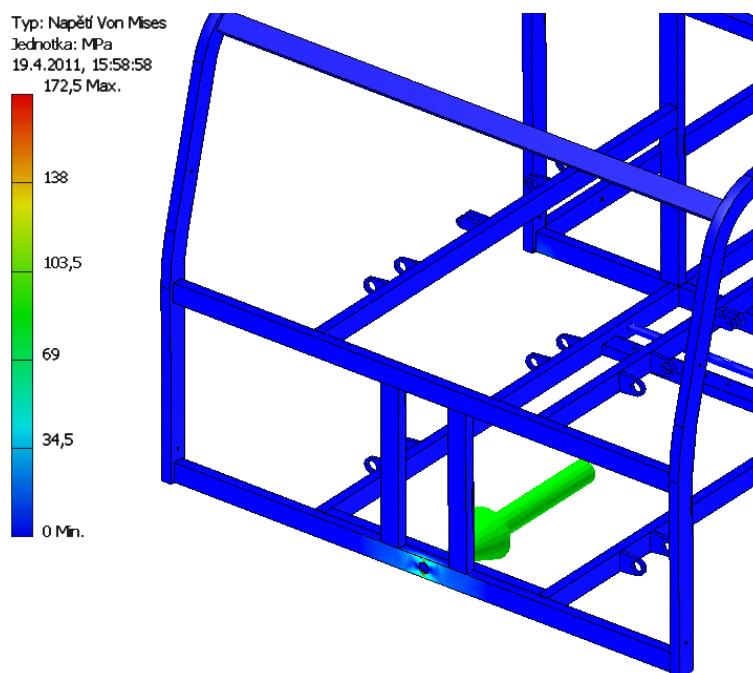
Konstrukční materiál s dobrou tvárností, leštitelností a odolností proti korozi, dobrou schopností elektrolytické oxidace, vhodný ke svařování. Ve vytvrzeném stavu je pevnost v tahu 220 – 250 MPa a tvrdost max. 60 HB. Plastické vlastnosti v žíhaném stavu dobré, ve vytvrzeném stavu vyhovující. Tvářitelnost za teplot 450 - 500°C velmi dobrá. Korozní odolnost je velmi dobrá, neprojevuje se sklon ke koroznímu praskání pod napětím. Obrobitelnost řeznými nástroji je nevyhovující v žíhaném stavu a vyhovující ve vytvrzeném stavu. Použití: součásti se střední pevností dlouhodobě pracující při teplotách 50 až -70°C, u nichž se požaduje dobrá technologičnost, korozní odolnost a dekorativní vzhled. Použití na letadla, vozidla, ve stavebnictví, potravinářství, pro jemnou mechaniku (např. kabiny letadel a vrtulníků, krytiny, intarzie, rámy dveří, přepážky, eskalátory, nábytek, nýtované mosty, mostové jeřáby, stožáry).

8.3.2 Kontrolní výpočet rámu

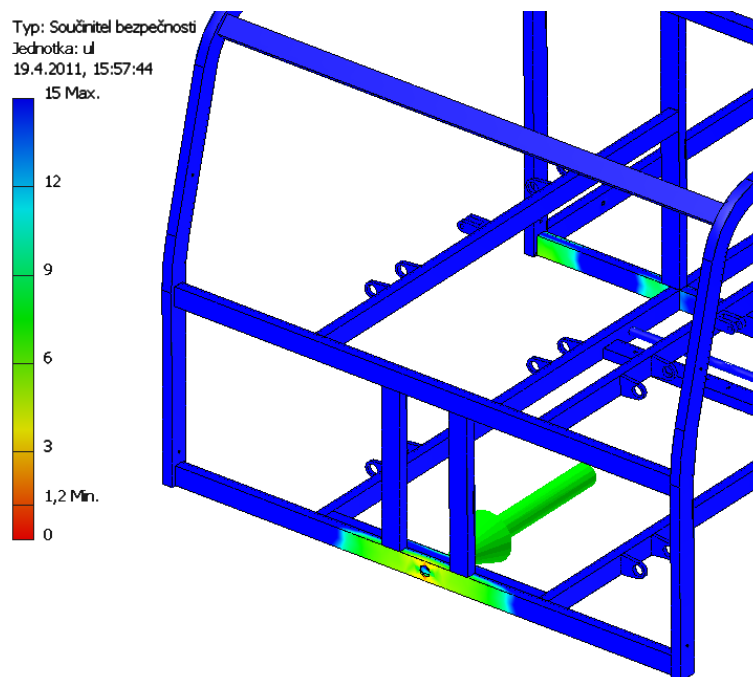
Metodou konečných prvků v softwarovém programu Inventor 2010, bylo na celém rámu zjištěno napětí Von Mises, celkové posunutí a bezpečnost. Okrajové podmínky byly zvoleny tak, aby simulovaly nejzatíženější stav, kdy je vozidlo zvednuté do vzduchu. Na zvýšení tuhosti byl přidán vyztužovací plech z oceli na vnitřní straně spodní příčky.



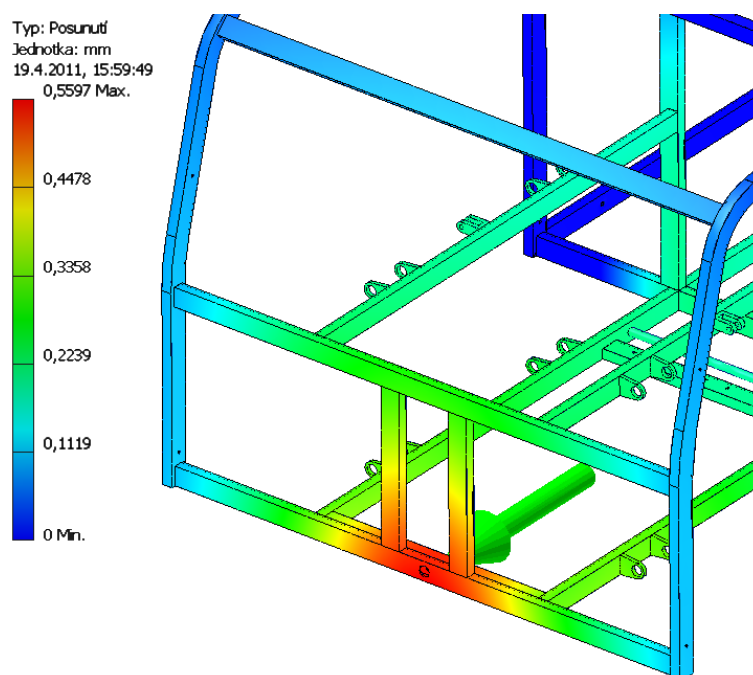
Obr. 8.6: Okrajové podmínky



Obr. 8.7: Výsledné hodnoty napětí Von Mises



Obr. 8.8: Výsledný součinitel bezpečnosti



Obr. 8.9: Výsledné posunutí

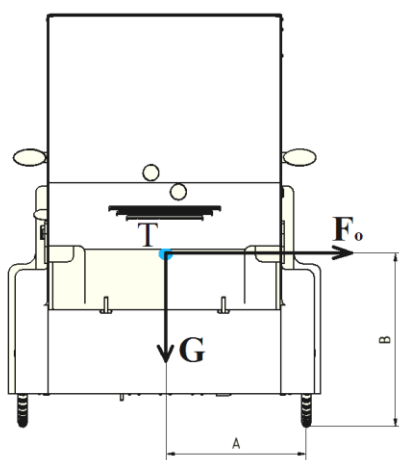
Z vypočtených výsledků bylo zjištěno, že rám bude s bezpečností 1,2 zvládat tento typ zatížení. Největší koncentrace napětí 172,5 MPa byla naměřena v oblasti díry šroubu z vnější strany. Maximální deformace (průhyb) byla zjištěna uprostřed nosníku s hodnotou 0,5597 mm.

9. KONTROLA PRŮJEZDU ZATÁČKOU

Na tuto kontrolu byla uvažována rychlost 50km/h a poloměr zatáčky byl zvolen jako nejmenší poloměr na okruhu v Eurospeedway Lausitz. Materiál rámu viz kapitola 8.3.1.

9.1 Kontrola na převrácení v zatáčce

Analytický výpočet byl proveden na zadní nápravu, protože je těžiště blíže zadní nápravě. Minimální bezpečnost proti překlopení volím $k_D=1,5$ [1].



Obr. 9.1: Rozložení sil na zadní nápravě

Odstředivá síla:

$$F_o = \frac{m \cdot v_z^2}{r_z} = \frac{150 \cdot 13,9^2}{35} = 828 \text{ N} \quad (9.1)$$

Tíhová síla:

$$G = m \cdot g = 150 \cdot 9,81 = 1471,5 \text{ N} \quad (9.2)$$

kde:

- $m = 150$ [kg] - hmotnost vozu s řidičem
- $v_z = 50$ [km/s] - 13,9 [m/s] - rychlost vozidla
- $r_z = 35$ [m] – nejmenší poloměr okruhu

Podmínka proti převrácení kolem bodu R:

$$\begin{aligned} G \cdot A &\geq F_o \cdot B \\ 1471,5 \cdot 444,5 &\geq 828 \cdot 520 \\ 654082[Nmm] &\geq 430560[Nmm] \end{aligned} \quad (9.3)$$

Bezpečnost proti překlopení:

$$\begin{aligned} k &\geq k_D \\ k &= \frac{G \cdot A}{F_o \cdot B} = \frac{654082}{430560} = 1,52 \geq 1,5[-] \Rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned} \quad (9.4)$$

Maximální rychlost v zatáčce při bezpečnosti k=1:

$$k = \frac{G \cdot A}{F_o \cdot B} \Rightarrow F_o = \frac{G \cdot A}{k \cdot B} = \frac{1471,5 \cdot 444,5}{1 \cdot 520} = 1257,85 \text{ N} \quad (9.5)$$

$$F_o = \frac{m \cdot v_z^2}{r_z} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F_o \cdot r_z}{m}} = \sqrt{\frac{1257,85 \cdot 35}{150}} = 17,13 \text{ m/s} = 61,7 \text{ km/h} \quad (9.6)$$

kde:

- A = 444,5 mm - Rameno od bodu R k těžišti v ose x
- B = 520 mm - Rameno od bodu R k těžišti v ose y

9.2 Kontrola rámu v zatáčce

Na zadání okrajových podmínek vyžaduje softwarový program Inventor specifikovat zatížení pomocí zrychlení, proto byla přepočtena odstředivá síla na zrychlení.

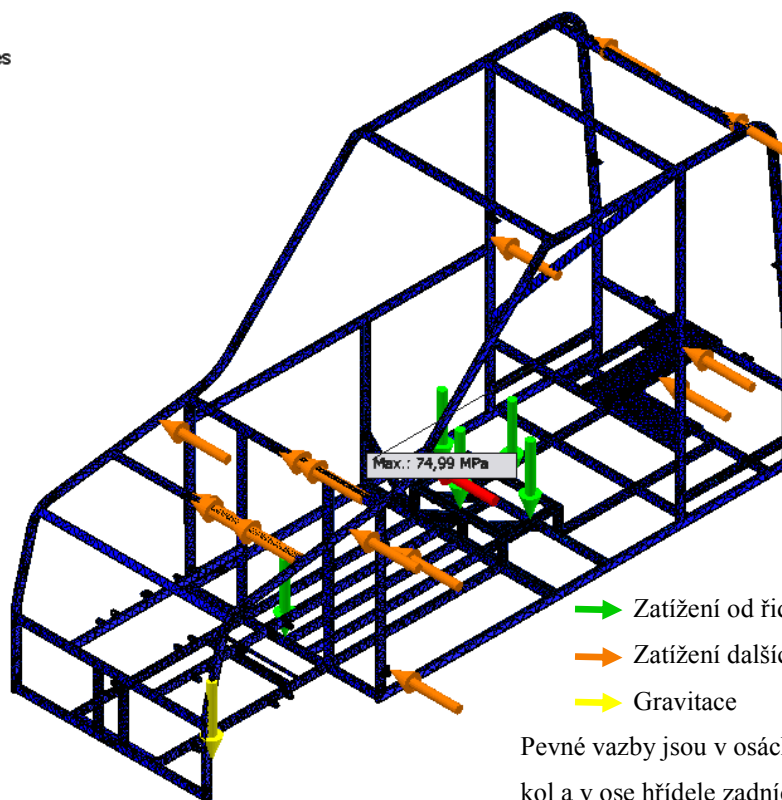
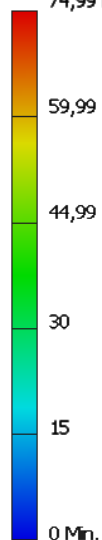
Přepočet:

$$F_o = m \cdot a_z \Rightarrow a_z = \frac{F_o}{m} = \frac{828}{150} = 5,88 \text{ m/s}^2 \quad (9.7)$$

Po prvním vyhodnocení výpočtů rámu, bylo zjištěno, že nejkritičtější oblast zatížení je pod sedadlem řidiče. Proto byly přidány další příčky v této části, a to tak aby přenesly zatížení více na krajní strany. Další příčka byla vyztužena za řidičem, kde se rám prohýbal v horní části ve směru odstředivé síly.



Uzly:201825
Prvky:101304
Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
19.4.2011, 1:18:59
74,99 Max.

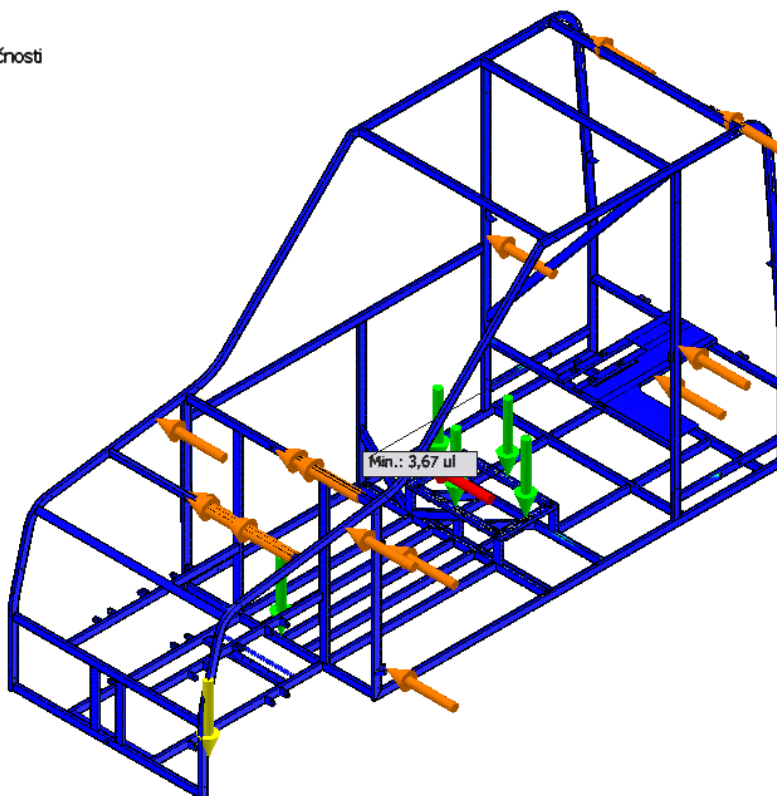
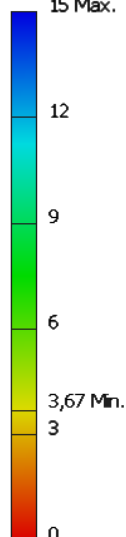


- Zatížení od řidiče
- Zatížení dalších částí vozu
- Gravitace

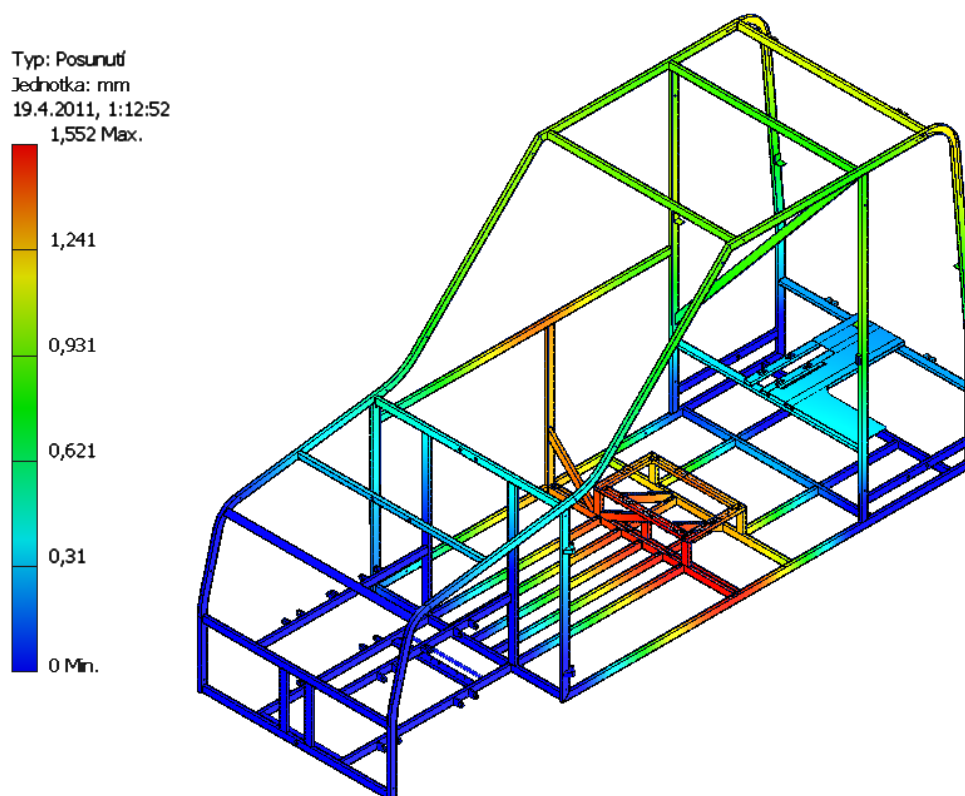
Pevné vazby jsou v osách čepů předních kol a v ose hřídele zadních kol.

Obr. 9.2: Výsledné hodnoty napětí Von Mises + okrajové podmínky

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
19.4.2011, 1:17:29
15 Max.



Obr. 9.3: Výsledný součinitel bezpečnosti



Obr. 9.4: Výsledné posunutí

Po vyztužení již zmiňovaných příček bylo vyhodnocení velmi přijatelné. Maximální napětí Von Mises dosáhlo hodnot 74,99 MPa. Součinitel bezpečnosti byl zvýšen na hodnotu 3,67 a maximální průhyb se zmenšil na 1,552 mm.

10. KOLA

[17]

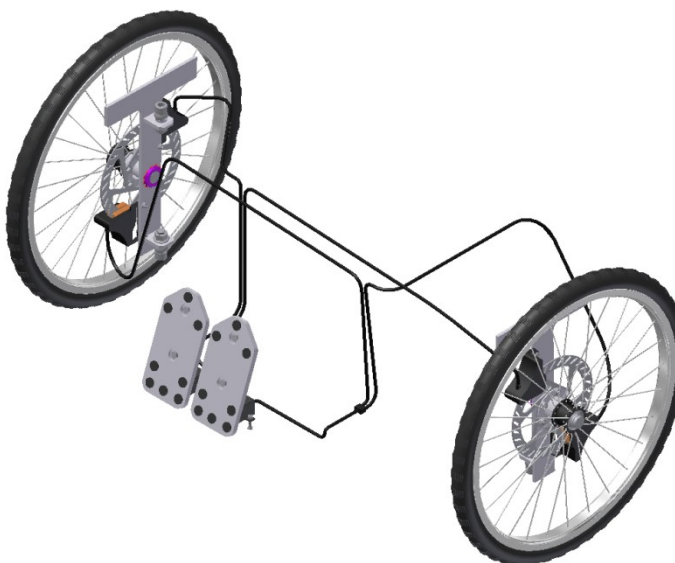
Při návrhu kol bylo důležité, aby kola neměla příliš velký odpor, byla lehká a relativně tuhá. Od firmy Remerx byl zvolen ráfek na horská kola, model Natural 406x21 (vyráběný z materiálu s vylepšenými charakteristikami). Duše a pláště byly zvoleny od firmy Kenda, model E 406-47 K-935 KHAN 20x1,75 černá.

10.1 Brzdy

Dle pravidel je nutnost vybavit vozidlo dvěma na sobě nezávislými okruhy. Protože jsou přední kola účinnější na brzdění vozidla než zadní, byly sestaveny oba okruhy na přední kotouče.

Z důvodu nedostatku informací výrobce o účinnosti brzd není možné určit přesný brzdňý účinek, ale jsou využívány v těchto konceptech běžně.

Hydraulické brzdy byly navrženy od dodavatele SRAM. Model brzd AVID CODE 5, model kotouče AVID G2 Clean Sweep.

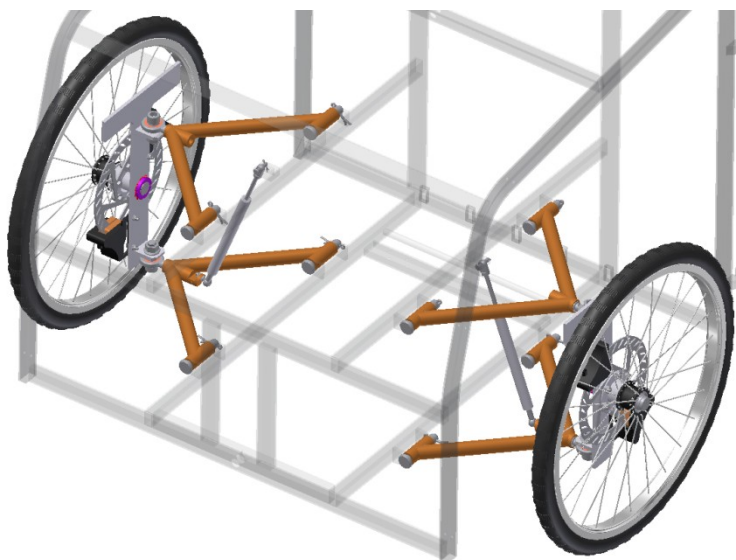


Obr. 10.1: Okruhy hydraulických brzd

10.2 Odpružení

[18]

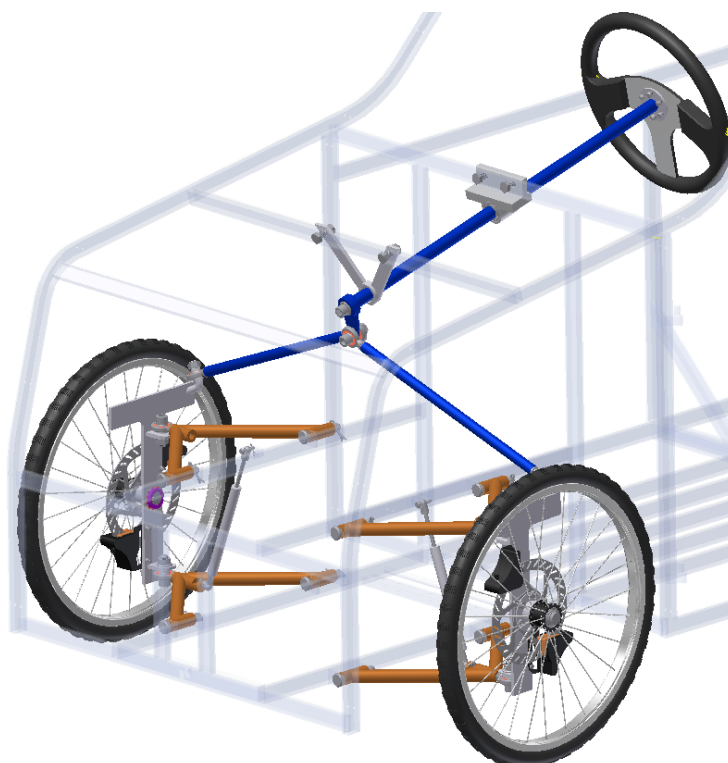
Tlumiče nárazů byly zvoleny od firmy Weforma, model 84050_WM-Z2-050. Jde spíše o tvrdší odpružení, které je vhodnější na rovný typ vozovky. Maximální síla, kterou je schopny tlumič stlačit je 3100 N. Maximální zdvih tohoto tlumiče je 50 mm.



Obr. 10.2: Tlumiče nárazů

11. ŘÍZENÍ

Řízení předních kol bylo navrženo tak, aby bylo jednoduché na ovládání a přitom bylo využito co nejméně materiálu. Princip otáčení předních kol je podobný jako u motokár. Hlavní pohyb koná otáčející rameno na hřídeli volantu. Pomocí tyčí se vždy vysune jedno kolo a zároveň zasune druhé. Na řízení byl využit odlehčený sportovní volant od firmy SPARCO, model Reflex.



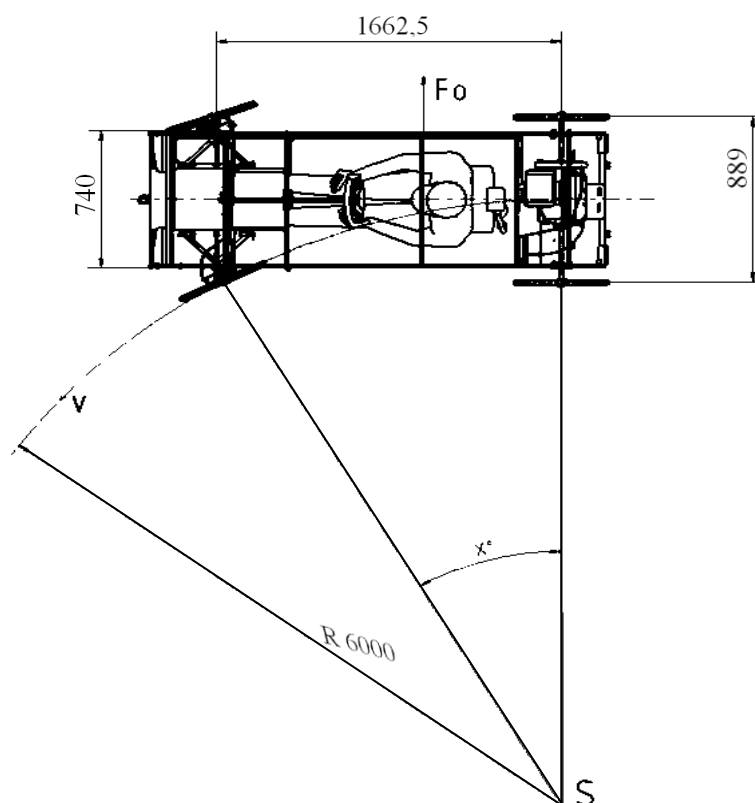
Obr. 11.1: Řízení

11.1 Řízení v zatáčce

[2]

Jelikož se ve stavu zatáčení otáčí každé kolo jinou rychlostí, což je dáno jiným poloměrem obloukové trajektorie, musí se přikládat důležitost na tzv. sbíhavost kol. Úhel sbíhavosti kol se při montáži musí nastavit do minusových hodnot. Toto nastavení se dá měnit pomocí šroubování tyče na závitu kulového oka.

Dle pravidel musí vozidlo být schopno projet zatáčkou o poloměru 6 metrů, ale kola umožňují i vyšší vyklonění do strany, tzn. menší poloměr zatáčky. Pomocí geometrie byl vypočítán úhel kola, který musí svírat s rámem.



Obr. 11.2: Průjezd zatáčkou

$$\sin x^\circ = \frac{r_k}{R} = \frac{1662,5}{6000} \Rightarrow x_6 = \arcsin \frac{1662,5}{6000} = 16^\circ \quad (11.1)$$

Při poloměru 35 metrů:

$$\sin x^\circ = \frac{r_k}{r_z} = \frac{1662,5}{35000} \Rightarrow x_{35} = \arcsin \frac{1662,5}{35000} = 3^\circ \quad (11.2)$$

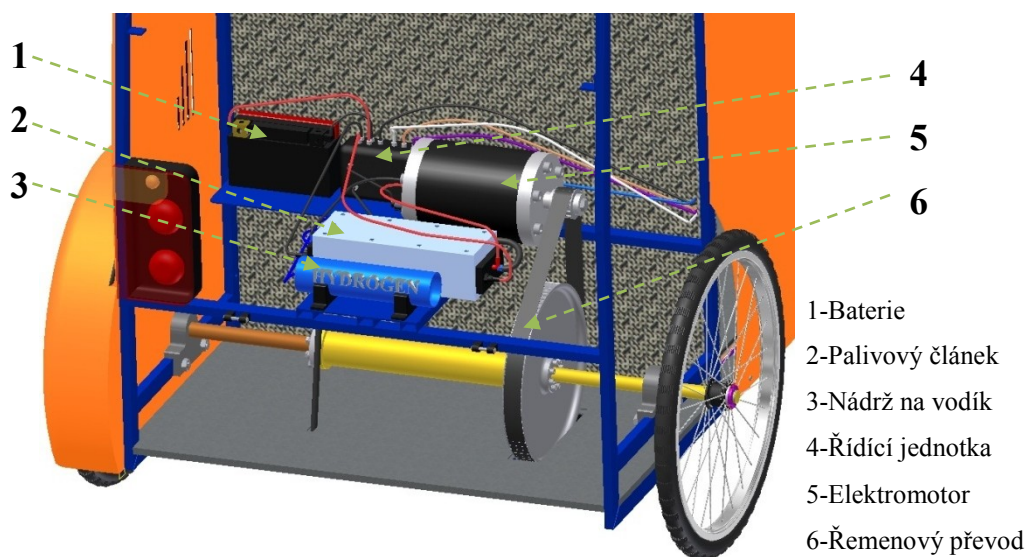
kde:

- $R = 6 \text{ m}$ – nejmenší poloměr zatáčky
- $r_k = 1662,5 \text{ mm}$ – rozvor kol
- $r_z = 35 \text{ m}$ – minimální potřebný poloměr zatáčky

12. POHON – PALIVOVÝ ČLÁNEK

Hlavní částí pohonu je palivový článek od firmy Ballard s modelem Nexa power modul, na který byl prováděn výzkum na Vysoké škole báňské – Technické universitě Ostrava. Hlavními částí výzkumu byla diagnostika a provozní zkoušky jako je zatěžovací, výkonová charakteristika atd.

Protože výsledky tohoto výzkumu byly pozitivní a tento model se dříve i využíval k pohonu Hydrogenixu (projekt VŠB – TUO), byl využit i pro tento projekt. Další části pohonu byly navrženy s ohledem na co možná největší účinnost, proto byl zvolen řemenový převod s větším převodovým poměrem namísto kombinace převodu s menším převodovým poměrem a planetové převodovky, což by mělo za následek vyšší ztráty. Zvolené řešení pohonu bude z hlediska spotřeby paliva efektivnější.



Obr. 12.1: Hlavní části pohonu

13. ZÁVĚR

Návrh závodního vozidla byla pro mě velká výzva z hlediska náročnosti. Dříve jsem neměl žádné zkušenosti s konstruováním v tomto směru a z nemalé části mi také práci ztěžovalo dodržování všech pravidel Shell Eco-Marathonu.

Největší částí práce bylo navrhnout rám, který by vyhovoval všem kritériím, jako je hmotnost, pevnost, rozměr, tvar, zatížení a zásadám soutěže. Zásadní změnou bylo snížení výšky rámu, čím se snížilo těžiště a zároveň se zvýšila bezpečnost proti překlopení v zatáčce. Obtížná oblast návrhu byla kola v přední části vozu, která byla řízená a odpružená současně. S ohledem na hmotnost vozidla bylo využito jednoduché řízení, které se vyskytuje na motokárách. Na přední kola byly také namontovány kotoučové brzdy, jelikož na zadních by měly nižší účinnost (při brzdění se kinetická energie pohybuje směrem dopředu).

Při návrhu pohonu se postupovalo od výpočtů celkových odporů při rychlosti 50 km/h přes ztráty a převodový poměr k potřebnému točivému momentu elektromotoru. Pevnostní analýzy byly simulovány na rámu pro dvě možné situace. První z nich je zatížení 2000 N od oka v čelní části vozidla. Výsledek bezpečnosti oka byla vypočítána na hodnotu 1,79 a rámu na hodnotu 1,2. Druhá simulace byla zaměřená na napětí v rámu v nejkritičtějších okamžicích na okruhu. Tento okamžik je průjezd v nejmenším poloměru zatáčky na okruhu s maximální rychlostí. Na dané zatížení byly výsledky velmi dostačující, celková bezpečnost byla vyhodnocena na hodnotu 3,67. Ve skutečnosti by byla tuhost ještě zvýšena voštinou a svary, které nebyly započítány do simulace.

Jsem přesvědčen o tom, že vodík je energií budoucnosti. Už v této době je vodík využíván v různých oborech vědy a řeší se problematika uchovávání, převážení a jednodušší výroba. Každý den se přibližujeme skutečnosti, že nebudeme závislí na ropě a lidi jednou nebudou mít vysoké výdaje za energie, která je v dnešní době tak důležitá. Jsem rád, že jsem se mohl podílet na vývoji tohoto konceptu. Díky tomuto projektu jsem obohatil své znalosti v této oblasti, které jsou pro mě jak užitečné z hlediska práce, tak zajímavé z hlediska poznání.



14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [2] MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I*. 2. Přepř.vyd. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. 213s., ISBN 80-05-00392-7.
- [3] *HydrogenixIX official website*. [online]. [cit. 2011-1-15]. Dostupné z: www.shell.com/eco-marathon
- [4] LEINVEBER, J., ŘASA J., VÁVRA P., *Strojnické tabulky*. Scientia, spol. s.r.o., Praha, 2000, 911 s. ISBN 80-7183-164-6
- [5] ANDRÝSEK, Roman. *Návrh mechaniky vodíkového automobilu*. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, 54 s. Diplomová práce.
- [6] URL <<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/>> [cit 2011-1-17]
- [7] URL <<http://cs.wikipedia.org/>> [cit 2011-1-17]
- [8] URL <<http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/VODIK.HTM>> [cit 2011-1-17]
- [9] URL <<http://www.ekobydleni.eu/tag/vodik>> [cit 2011-1-23]
- [10] URL <http://www.proridice.atlasweb.cz/Vodik/Vodik_vyroba.html> [cit 2011-2-7]
- [11] URL <<http://www.moto-svet.cz/okruhy-a-historie/autodromy/>> [cit 2010-2-3]
- [12] URL <<http://palivovy-clanek.navajo.cz/>> [cit 2011-2-11]
- [13] URL <<http://hydrogenix.vsb.cz/CZ/startCZ.html>> [cit 2011-1-13]
- [14] URL <<http://www.nabytekservis.cz/>> [cit 2011-2-21]
- [15] URL <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/3111.pdf>> [cit 2010-10-5]
- [16] URL <<http://hlinikove-profilky.proal.cz/>> [cit. 2010-10-11]
- [17] URL <<http://www.cyklovybava.cz/>> [cit. 2010-11-3]
- [18] URL <http://weforma.qa.esx.partcommunity.com/PARTcommunity/Portal/weforma?info=weforma/industrie/wm-z_asmtab.prj> [cit. 2010-12-10]

15. PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha

- A - Tabulky výpočtů řemenového převodu
- B - Sestavný výkres – miniYeti, sn2kiv01-DP-1
- C - Svařenec – Rám, sn2kiv01-DP-2
- D - Výrobní výkres – Hřídel-nepoháněná, sn2kiv01-DP-3

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Způsob zatížení, pracovní parametry			
1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Přenášený výkon	P	1,03 1,01 [kW]
1.3	Otáčky řemenice (požadované)	n	3500 577 [/min]
1.4	Otáčky řemenice (skutečné)	n	3500,0 583,3 [/min]
1.5	Převodový poměr požadovaný / skutečný	i	6,066 6,000
1.6	Krouticí moment	Mk	2,80 16,49 [Nm]
1.7	Typ hnacího stroje (zatížení)	B...S větší nerovnoměrností	
1.8	Typ poháněného stroje (zatížení)	C...S malou nerovnoměrností	
1.9	Denní zatížení převodu	A...Méně než 8 hodin	
1.10	Součinitel provozního zatížení	c2	1,4 1,4 <input checked="" type="checkbox"/>
1.11	Účinnost převodu	eta	98 [%]

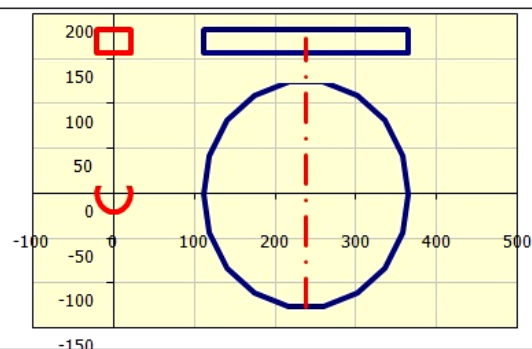
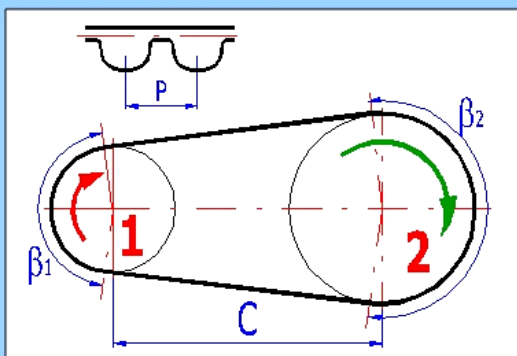
2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Automatický návrh																					
2.1	Výběr typu řemene L (PowerGrip)																				
2.2	Teoretická min / max. osová vzdálenost c 165 - 901 [mm]																				
2.3	Osová vzdálenost pro 'Automatický návrh' c 250,00 [mm]																				
2.4	Automatický návrh - stiskněte tlačítko Automatický návrh																				
2.5	Třídít výsledky podle parametru: Převodový poměr																				
2.6	Tabulka řešení																				
2.7	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>z1</th> <th>z2</th> <th>B</th> <th>i</th> <th>di [%]</th> <th>A</th> <th>dA</th> <th>SF</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>03.</td> <td>14</td> <td>84</td> <td>25,400</td> <td>6,000</td> <td>1,086</td> <td>238,31</td> <td>11,69</td> <td>0,775</td> <td>3,39</td> </tr> </tbody> </table>	ID	z1	z2	B	i	di [%]	A	dA	SF	m	03.	14	84	25,400	6,000	1,086	238,31	11,69	0,775	3,39
ID	z1	z2	B	i	di [%]	A	dA	SF	m												
03.	14	84	25,400	6,000	1,086	238,31	11,69	0,775	3,39												
2.8																					

3.0 ☒ Návrh a výpočet

- 3.1 Vybraná šířka synchronního řemene
- 3.2 Počet zubů řemenice (průměr řemenice) - výběr
- 3.3 Počet zubů řemenice
- 3.4 Výpočtový průměr řemenice
- 3.5 Doporučená osová vzdálenost / min-max
- 3.6 Osová vzdálenost požadovaná / skutečná
- 3.7 Počet zubů řemene (délka řemene) - výběr
- 3.8 Počet zubů řemene / navržený
- 3.9 Délka řemene / rozteč
- 3.10 Návrhový výkon
- 3.11 Výkon přenesený řemenem
- 3.12 Přibližná celková hmotnost
- 3.13 Součinitel využití řemene
- 3.14 **Nestandardní řešení**
- 3.15 Použít normalizované řemenice
- 3.16 Použít normalizované řemeny

B	25,4 / 1		[mm/in]
z	14 (42,45)		[mm]
z	14	84	
Dp	42,447	254,680	[mm]
C'	237,7	163 - 594	[mm]
C	250,00	238,31	[mm]
z	76 (723,9)		[mm]
z	104	104	<input checked="" type="checkbox"/>
Lw/P	990,60	9,525	[mm]
Pd	1,44		[kW]
P'	1,86		[kW]
m	3,39		[kg]
SF	0,78		

Ano	<input type="checkbox"/>
Ano	<input type="checkbox"/>



4.0 ☒ Výsledky, koeficienty

4.1 **Koeficienty**

- 4.2 - Součinitel provozního zatížení
- 4.3 - Součinitel zrychlení
- 4.4 - Součinitel délky řemene
- 4.5 - Součinitel šířky řemene
- 4.6 - Součinitel počtu zubů v záběru
- 4.7 - Součinitel převodového poměru
- 4.8 - Úhel opásání řemenice

c2	1,40		
c3	0,00		
c5	1,00		
c6	1,00		
c1	0,78		
c7	0,00		
β	127,12	232,88	[°]

4.9 **Osová přestavitelnost**

- 4.10 - Pro napínání řemene
- 4.11 - Pro nasazení řemene

x	0,80	[mm]
y	1,00	[mm]

4.12 **Silové poměry, rychlost**

- 4.13 - Rychlost řemene / max. pro daný typ

v	7,78	35	[m/s]
---	------	----	-------

4.14 **Výpočet pracovních sil (obecně)**

- 4.15 - Síla v odlehčené větvi v % tahové síly
- 4.16 - Tahová síla
- 4.17 - Předpětí
- 4.18 - Síla v zatížené větvi řemenu
- 4.19 - Síla v odlehčené větvi řemenu
- 4.20 - Celková radiální síla na hřídel

	31,0	31,00	<input checked="" type="checkbox"/> [%]
Fu	132		[N]
Fo	107		[N]
F1	173		[N]
F2	41		[N]
Fr	201		[N]

4.21 **Výpočet pracovních sil (Gates Rubber Company ®)**

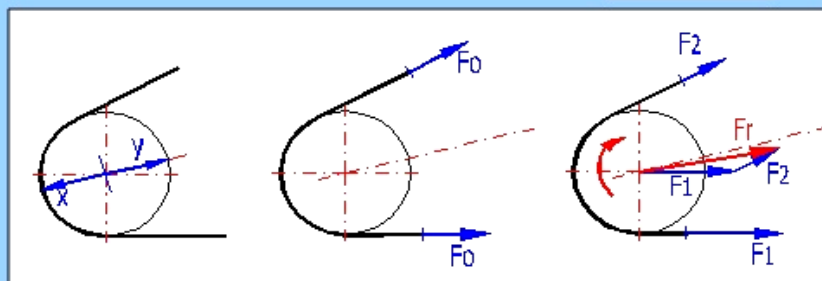
- 4.22 - Celková radiální síla na hřídel
- 4.23 - Předpětí

Fr	228	[N]
Fo	102	[N]

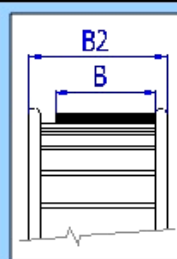
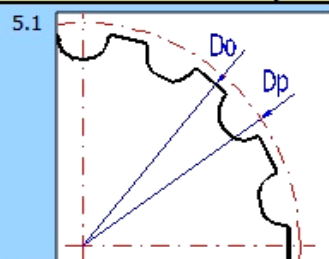
4.24 **Výpočet pracovních sil (firma ContiTech ®)**

- 4.25 - Koeficient
- 4.26 - Celková radiální síla na hřídel
- 4.27 - Předpětí

k1	1,25	1,25	<input checked="" type="checkbox"/>
Fr	-		[N]
Fo	-		[N]



5.0 ☒ Základní rozměry řemenice a řemene



P	9,53		[mm]
h	3,560		[mm]
B	25,40		[mm]
B2	29,40		[mm]
Dp	42,45	254,68	[mm]
Do	41,65	253,88	[mm]

